



TUGAS AKHIR - MO141326

**PERUMUSAN FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN  
PADA SAMBUNGAN *TUBULAR MULTIPLANAR*  
K *DOUBLE T* DENGAN PEMBEBANAN AKSIAL  
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

SOFYAN WAHYU WIDHESTOMO

NRP. 04311440000047

Dosen Pembimbing :

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

2018



FINAL PROJECT - MO141326

# STRESS CONCENTRATION FACTOR FORMULATION FOR K DOUBLE T MULTIPLANAR TUBULAR JOINT DUE TO AXIAL LOADING USING FINITE ELEMENT METHOD

SOFYAN WAHYU WIDHESTOMO

NRP. 04311440000047

Supervisors :

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

2018

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERUMUSAN FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN PADA SAMBUNGAN *TUBULAR MULTIPLANAR K DOUBLE T* DENGAN PEMBEBANAN AKSIAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**SOFYAN WAHYU WIDHESTOMO**

NRP. 04311440000047

Disetujui oleh:

1. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. (Pembimbing 1)
2. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 2)
3. Ir. Joesoef Joswan Soedjono, M.Sc. (Penguji 1)
4. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D. (Penguji 2)
5. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 3)
6. Agro Wisudawan, S.T., M.T. (Penguji 4)

SURABAYA, JULI 2018

**PERUMUSAN FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN PADA  
SAMBUNGAN *TUBULAR MULTIPLANAR* K *DOUBLE T* DENGAN  
PEMBEBANAN AKSIAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN  
HINGGA**

**Nama Mahasiswa : Sofyan Wahyu Widhestomo**

**NRP : 04311440000047**

**Departemen : Teknik Kelautan**

**Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.**

**Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.**

**ABSTRAK**

Struktur anjungan lepas pantai terpancang yang beroperasi akan terkena beban berulang pada bagian *jacket platform* yang mengakibatkan adanya pembesaran tegangan pada daerah sambungan antara *brace* dan *chord*. Tegangan maksimum pada daerah ini disebut *hot-spot stress*. *Hot-spot stress* dapat memacu percepatan timbulnya kelelahan pada struktur, dan besarnya dipengaruhi oleh parameter yang disebut *stress concentration factor* (SCF). Tugas Akhir ini melakukan analisis tentang efek dari variasi parameter *non-dimensional* ( $\beta$ ,  $\tau$ ,  $\gamma$ , dan  $\theta$ ) terhadap distribusi tegangan di sekitar garis sambungan antara *brace* dan *chord* serta nilai SCF yang dihasilkan. Selain itu, tugas akhir ini juga akan merumuskan SCF dengan metode *regresi*. Hasil dari analisis ini menunjukkan bahwa semakin besar parameter  $\beta$  dan  $\theta$  maka tegangan di sekitar sambungan akan semakin kecil, sebaliknya semakin besar parameter  $\tau$  dan  $\gamma$  maka tegangan disekitar sambungan akan semakin besar. Analisis terhadap nilai SCF menunjukkan bahwa semakin besar parameter  $\beta$ ,  $\tau$ ,  $\gamma$  maka tegangan *nominal* akan semakin kecil sehingga nilai SCF akan semakin besar, sedangkan semakin besar parameter  $\theta$  tidak akan berpengaruh terhadap besar tegangan *nominal* sehingga SCF akan semakin kecil. Presentase *error* rata-rata SCF yang didapatkan dari persamaan baru dan SCF dari hasil analisis metode elemen hingga cukup kecil, sehingga persamaan baru tersebut dapat dikatakan valid.

**Kata Kunci :** sambungan *tubular multiplanar*, tegangan *hot-spot*, faktor konsentrasi tegangan, perumusan SCF, metode elemen hingga

**STRESS CONCENTRATION FACTOR FORMULATION FOR  
K DOUBLE T MULTIPLANAR TUBULAR JOINT DUE TO AXIAL  
LOADING USING FINITE ELEMENT METHOD**

**Name of Student** : Sofyan Wahyu Widhestomo  
**NRP** : 04311440000047  
**Department** : Ocean Engineering  
**Supervisors** : Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.  
Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

**ABSTRACT**

An operating fixed offshore structure platform is subjected to cyclic loads, causing a concentration of stresses at intersections between brace and chord. The maximum stress at the intersection between a brace and a chord is called the hot-spot stress. Hot-spot stress can accelerate fatigue in the structure and the magnitude is affected by parameter called stress concentration factor (SCF). This final project analyzes effect of non-dimensional parameters variation ( $\beta$ ,  $\tau$ ,  $\gamma$ , and  $\theta$ ) on stress distribution around the intersection between brace and chord. It also generates SCF values. In addition, this final project also formulates SCF with regression method. Results of this analysis indicate that the escalation of the  $\beta$  and  $\theta$  leads to derivation of stress around intersection between brace and chord, while an increase in  $\tau$  and  $\gamma$  leads to escalation of stress around the intersection between brace and chord. Analysis on SCF values indicates that the escalation  $\beta$ ,  $\tau$ ,  $\gamma$  leads to derivation of nominal stress so SCF values will be greater, while the increase in  $\theta$  will not affect nominal stress magnitudes so the SCF value will be smaller. Average error of SCF obtained from equation and SCF from finite element method is small, so new SCF equation can be accepted.

**Keywords** : multiplanar tubular joint, hot-spot stress, stress concentration factor, SCF formulation, finite element method

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir berjudul **“Perumusan Faktor Konsentrasi Tegangan pada Sambungan Tubular Multiplanar K Double T dengan Pembebanan Aksial Menggunakan Metode Elemen Hingga”** dengan baik dan lancar. Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan oleh penulis untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan tidak luput dari kesalahan. Oleh karena itu saran dan kritik sangat penulis harapkan untuk evaluasi dan penyempurnaan laporan ini. Penulis berharap semoga laporan ini dapat menjadi panduan dalam pembuatan laporan lain bagi pembaca dan dapat bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan. Atas perhatian pembaca, penulis mengucapkan terima kasih.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, banyak pihak yang turut membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung. Tugas Akhir ini tidak akan dapat dikerjakan dengan baik dan lancar tanpa bantuan-bantuan yang telah diberikan kepada penulis. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan doa, dukungan, dan bantuan material dengan tulus ikhlas kepada penulis.
3. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pertama yang telah bersedia memberikan ilmu dan membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing 2 dan dosen wali yang telah memberikan ilmu, membimbing, dan memberikan arahan kepada penulis selama masa perkuliahan.
5. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Kelautan yang telah membantu penulis memahami banyak ilmu dan membantu kelancaran penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
6. Alumni Departemen Teknik Kelautan (mas Bonar, mas Ibnu) yang telah memberikan data dan membantu penulis memahami materi Tugas Akhir.
7. Teman-Teman bimbingan Tugas Akhir Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. (Yz, Zulfikar, Galura, Rwa) yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan menjadi teman diskusi dalam mengerjakan Tugas Akhir.
8. Teman-teman angkatan 2014 (MAELSTROM) yang telah sama-sama berjuang bersama penulis selama masa perkuliahan.
9. Pihak-pihak yang penulis tidak bisa sebutkan satu persatu.

Semoga segala bentuk dukungan dalam bentuk doa, motivasi maupun bantuan lainnya yang diberikan berbagai pihak kepada penulis dapat menjadi amalan barokah dan mendapatkan balasan yang lebih baik dari Allah SWT.

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| LEMBAR PENGESAHAN .....  | i    |
| ABSTRAK.....   | ii   |
| <i>ABSTRACT</i> .....  | iii  |
| KATA PENGANTAR .....   | iv   |
| UCAPAN TERIMA KASIH .....  | v    |
| DAFTAR ISI.....  | vi   |
| DAFTAR GAMBAR.....   | ix   |
| DAFTAR TABEL.....  | xii  |
| DAFTAR LAMPIRAN.....   | xiii |
| DAFTAR ISTILAH.....  | xiv  |
| DAFTAR NOTASI.....   | xv   |
| BAB I PENDAHULUAN.....   | 1    |
| 1.1 Latar Belakang.....  | 1    |
| 1.2 Perumusan Masalah.....   | 3    |
| 1.3 Tujuan .....   | 3    |
| 1.4 Manfaat.....   | 4    |
| 1.5 Batasan Masalah.....   | 4    |
| 1.6 Sistematika Penulisan.....   | 4    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....                                  | 7    |
| 2.1 Tinjauan Pustaka .....   | 7    |
| 2.2 Dasar Teori.....   | 8    |
| 2.2.1 <i>Tubular Joint</i> .....   | 8    |
| 2.2.2 <i>Multiplanar Tubular Joint</i> .....                                   | 10   |
| 2.2.3 Desain Sambungan Las.....  | 10   |
| 2.2.4 Pembebanan Dasar.....  | 11   |
| 2.2.5 <i>Hot-Spot Stress</i> .....   | 11   |
| 2.2.6 Mencari Tegangan <i>Hot-Spot</i> Menggunakan Ekstrapolasi<br>Linier..... | 12   |
| 2.2.7 <i>Stress Concentration Factor (SCF)</i> .....                           | 14   |
| 2.2.8 Metode Elemen Hingga .....   | 14   |



|                                     |  |    |
|-------------------------------------|--|----|
| 2.2.9                               | Pemodelan dengan Elemen <i>Solid</i> Tiga Dimensi.....   | 16 |
| 2.2.10                              | <i>Meshing</i> .....   | 17 |
| 2.2.11                              | Penurunan Persamaan <i>Stress Concentration Factor</i><br>(SCF) dengan <i>Regresi</i> .....  | 17 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN ..... |  | 19 |
| 3.1                                 | Skema Diagram Alir.....  | 19 |
| 3.2                                 | Penjelasan Diagram Alir.....   | 20 |
| BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN..... |  | 27 |
| 4.1                                 | Pemodelan Elemen Hingga Sambungan <i>Tubular Uniplanar</i> KT.....   | 27 |
| 4.2                                 | Analisis Sensitifitas <i>Meshing</i> Sambungan <i>Tubular Uniplanar</i> KT.....  | 30 |
| 4.3                                 | Validasi Tegangan <i>Nominal</i> Sambungan <i>Tubular Uniplanar</i> KT .....   | 34 |
| 4.4                                 | Tegangan <i>Hot-Spot</i> pada Sambungan <i>Tubular Uniplanar</i> KT.....   | 37 |
| 4.5                                 | Faktor Konsentrasi Tegangan Sambungan <i>Tubular Uniplanar</i> KT .....  | 40 |
| 4.6                                 | Pemodelan Elemen Hingga Sambungan <i>Tubular Multiplanar</i> KDT .....   | 41 |
| 4.7                                 | Analisis Sensitifitas <i>Meshing</i> Sambungan <i>Tubular Multiplanar</i> KDT ..   | 43 |
| 4.8                                 | Validasi Tegangan <i>Nominal</i> Sambungan <i>Tubular Multiplanar</i> KDT ....   | 46 |
| 4.9                                 | Disitribusi Tegangan di Sekitar Sambungan <i>Brace</i> dan <i>Chord</i> .....  | 48 |
| 4.9.1                               | Pengaruh Variasi Parameter <i>Beta</i> Terhadap Distribusi<br>Tegangan.....  | 49 |
| 4.9.2                               | Pengaruh Variasi Parameter <i>Tau</i> Terhadap Distribusi<br>Tegangan.....   | 50 |
| 4.9.3                               | Pengaruh Variasi Parameter <i>Gamma</i> Terhadap Distribusi<br>Tegangan.....   | 51 |
| 4.9.4                               | Pengaruh Variasi Parameter <i>Teta</i> Terhadap Distribusi<br>Tegangan.....  | 52 |
| 4.10                                | Tegangan <i>Hot-Spot</i> pada Sambungan <i>Tubular Multiplanar</i> KDT .....   | 52 |
| 4.11                                | Faktor Konsentrasi Tegangan pada Sambungan <i>Tubular Multiplanar</i><br>KDT.....  | 54 |
| 4.12                                | Perumusan Faktor Konsentrasi Tegangan Sambungan <i>Tubular</i><br><i>Multiplanar</i> KDT .....                                     | 56 |
| 4.13                                | Perbandingan Faktor Konsentrasi Tegangan Persamaan dengan Faktor<br>Konsentrasi Tegangan Hasil Analisis Metode Elemen Hingga ..... | 58 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 63 |
| 5.1 Kesimpulan.....             | 63 |
| 5.2 Saran.....                  | 64 |
| DAFTAR PUSTAKA .....            | 65 |
| LAMPIRAN                        |    |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 1.1 (a) <i>Jacket Platform</i> dengan sambungan <i>tubular multiplanar</i> .....   | 1  |
| Gambar 1.1 (b) Sambungan <i>tubular uniplanar</i> dan <i>multiplanar</i> .....  | 1  |
| Gambar 1.2 (a) Metode analisis dengan eksperimen .....  | 2  |
| Gambar 1.2 (b) Metode analisis dengan elemen hingga .....   | 2  |
| Gambar 2.1 Beberapa jenis <i>tubular joint</i> sederhana .....  | 8  |
| Gambar 2.2 Parameter sambungan <i>tubular</i> .....   | 9  |
| Gambar 2.3 Sambungan dengan jenis lasan <i>toe fillet weld</i> .....  | 10 |
| Gambar 2.4 Mode pembebanan pada sambungan <i>tubular</i> .....  | 11 |
| Gambar 2.5 Ekstrapolasi linier berdasarkan DNVGL-RP-C203 .....  | 13 |
| Gambar 2.6 Sambungan <i>tubular</i> dengan metode elemen hingga <i>thin shell</i> .....   | 15 |
| Gambar 2.7 Sambungan <i>tubular</i> dengan metode elemen hingga <i>solid element</i> ....   | 16 |
| Gambar 2.8 Macam-macam tipe elemen <i>solid</i> tiga dimensi .....  | 16 |
| Gambar 2.9 <i>Meshing</i> pada sambungan <i>tubular</i> .....   | 17 |
| Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir .....  | 19 |
| Gambar 3.2 (a) <i>Brace Tripod Wellhead</i> Salawati .....  | 21 |
| Gambar 3.2 (b) <i>Multiplanar tubular joint</i> K double T .....  | 22 |
| Gambar 3.3 (a) Sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT .....  | 24 |
| Gambar 3.3 (b) <i>Balance axial load</i> pada sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT .....   | 24 |
| Gambar 4.1 (a) Model sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT sesuai data <i>global</i> .....  | 27 |
| Gambar 4.1 (b) Model sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT sudut A dan C sama ...   | 27 |
| Gambar 4.2 Elemen <i>solid</i> tiga dimensi <i>tetrahedron</i> .....  | 28 |
| Gambar 4.3 (a) <i>Meshing</i> pada model sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT sesuai<br>model <i>global</i> .....                      | 28 |
| Gambar 4.3 (b) <i>Meshing</i> pada model sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT sudut<br>A dan C sama .....                              | 29 |
| Gambar 4.4 (a) Kondisi batas dan pembebanan pada model sambungan <i>tubular</i><br><i>uniplanar</i> KT sesuai model <i>global</i> ..... | 29 |
| Gambar 4.4 (b) Kondisi batas dan pembebanan pada model sambungan <i>tubular</i><br><i>uniplanar</i> KT sudut A dan C sama .....         | 30 |
| Gambar 4.5 (a) Letak titik tinjau analisis <i>meshing sensitivity</i> pada model  |    |

|   |    |
|---|----|
| sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT sesuai model <i>global</i> .....  | 31 |
| Gambar 4.5 (b) Letak titik tinjau analisis <i>meshing sensitivity</i> pada model sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT sudut A dan C sama ..... | 31 |
| Gambar 4.6 Grafik <i>meshing sensitivity</i> pada model sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT sesuai model <i>global</i> .....                  | 32 |
| Gambar 4.7 Grafik <i>meshing sensitivity</i> pada model sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT sudut A dan C sama .....                          | 33 |
| Gambar 4.8 Lokasi tegangan maksimum pada model sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT sesuai model <i>global</i> .....                           | 37 |
| Gambar 4.9 Lokasi tegangan maksimum pada model sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT sudut A dan C sama .....                                   | 38 |
| Gambar 4.10 Grafik ekstrapolasi linier sisi <i>chord</i> pada model sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT sesuai model <i>global</i> .....      | 38 |
| Gambar 4.11 Grafik ekstrapolasi linier sisi <i>brace</i> pada model sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT sesuai model <i>global</i> .....      | 39 |
| Gambar 4.12 Grafik ekstrapolasi linier sisi <i>chord</i> pada model sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT sudut A dan C sama .....              | 39 |
| Gambar 4.13 Grafik ekstrapolasi linier sisi <i>brace</i> pada model sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT sudut A dan C sama .....              | 40 |
| Gambar 4.14 Model sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT sesuai data <i>global</i> ....   | 41 |
| Gambar 4.15 <i>Meshing</i> pada model sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT sesuai model <i>global</i> .....                                 | 42 |
| Gambar 4.16 Kondisi batas dan pembebanan pada model sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT sesuai model <i>global</i> .....                   | 42 |
| Gambar 4.17 Letak titik tinjau analisis <i>meshing sensitivity</i> pada model sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT .....                    | 43 |
| Gambar 4.18 Grafik <i>meshing sensitivity</i> pada model sambungan KDT sesuai model <i>global</i> .....   | 44 |
| Gambar 4.19 Grafik <i>meshing sensitivity</i> pada model sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT dengan variasi parameter <i>beta</i> .....    | 44 |
| Gambar 4.20 Grafik <i>meshing sensitivity</i> pada model sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT dengan variasi parameter <i>tau</i> .....     | 45 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.21 Grafik <i>meshing sensitivity</i> pada model sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT dengan variasi parameter <i>gamma</i> ..... | 45 |
| Gambar 4.22 Grafik <i>meshing sensitivity</i> pada model sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT dengan variasi parameter <i>teta</i> .....  | 46 |
| Gambar 4.23 Lokasi tegangan maksimum pada sambungan <i>tubular</i> KDT .....  | 48 |
| Gambar 4.24 Garis sambungan <i>horizontal brace</i> 1 yang akan ditinjau dengan pendekatan sudut .....  | 49 |
| Gambar 4.25 Grafik distribusi tegangan dengan variasi parameter <i>beta</i> .....   | 49 |
| Gambar 4.26 Grafik distribusi tegangan dengan variasi parameter <i>tau</i> .....  | 50 |
| Gambar 4.27 Grafik distribusi tegangan dengan variasi parameter <i>gamma</i> .....  | 51 |
| Gambar 4.28 Grafik distribusi tegangan dengan variasi parameter <i>teta</i> .....   | 52 |
| Gambar 4.29 Grafik ekstrapolasi linier sisi <i>brace</i> pada model sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT sesuai model <i>global</i> ..... | 53 |
| Gambar 4.30 Grafik ekstrapolasi linier sisi <i>chord</i> pada model sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT sesuai model <i>global</i> ..... | 53 |
| Gambar 4.31 Plot langkah a perumusan <i>stress concentration factor</i> .....   | 56 |
| Gambar 4.32 Plot langkah b perumusan <i>stress concentration factor</i> .....   | 56 |
| Gambar 4.33 Plot langkah c perumusan <i>stress concentration factor</i> .....   | 57 |
| Gambar 4.34 Plot langkah d perumusan <i>stress concentration factor</i> .....   | 57 |
| Gambar 4.35 Grafik korelasi SCF FEM dan SCF <i>formula</i> sisi <i>brace</i> .....  | 61 |
| Gambar 4.36 Grafik korelasi SCF FEM dan SCF <i>formula</i> sisi <i>chord</i> .....  | 61 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 3.1 Geometri <i>multiplanar tubular joint</i> K double T .....  | 21 |
| Tabel 3.2 Material <i>properties multiplanar tubular joint</i> K double T .....   | 22 |
| Tabel 3.3 Variasi parameter sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT .....  | 22 |
| Tabel 4.1 <i>Meshing sensitivity</i> pada model sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT<br>sesuai model <i>global</i> .....                   | 31 |
| Tabel 4.2 <i>Meshing sensitivity</i> pada model sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT sudut<br>A dan C sama .....                           | 32 |
| Tabel 4.3 Tegangan <i>nominal</i> dengan persamaan pada <i>model</i> sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT sesuai model <i>global</i> ..... | 34 |
| Tabel 4.4 Validasi tegangan <i>nominal</i> pada model sambungan <i>tubular uniplanar</i><br>KT sesuai model <i>global</i> .....             | 34 |
| Tabel 4.5 Tegangan <i>nominal</i> dengan persamaan pada <i>model</i> sambungan <i>tubular uniplanar</i> KT sudut A dan C sama .....         | 36 |
| Tabel 4.6 Validasi tegangan <i>nominal</i> pada model sambungan <i>tubular uniplanar</i><br>KT sudut A dan C sama .....                     | 36 |
| Tabel 4.7 Validasi SCF metode elemen hingga dengan SCF menggunakan<br>persamaan Efthymiou .....   | 40 |
| Tabel 4.8 Validasi tegangan <i>nominal</i> pada model sambungan <i>tubular multiplanar</i> KDT sesuai model <i>global</i> .....             | 47 |
| Tabel 4.9 Faktor konsentrasi tegangan pada <i>brace</i> .....   | 54 |
| Tabel 4.10 Faktor konsentrasi tegangan pada <i>chord</i> .....  | 55 |
| Tabel 4.11 Perbandingan SCF <i>formula</i> dengan SCF FEM pada sisi <i>brace</i> .....  | 58 |
| Tabel 4.12 Perbandingan SCF <i>formula</i> dengan SCF FEM pada sisi <i>chord</i> .....  | 59 |

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Data dan Model Sambungan *Tubular Multiplanar* KDT

Lampiran B *Meshing Sensitivity*

Lampiran C Ekstrapolasi Linier Tegangan *Hot-Spot*

Lampiran D Perumusan Faktor Konsentrasi Tegangan

## DAFTAR ISTILAH

*Wellhead Platform* : Struktur pengeboran migas lepas pantai yang berfungsi menyedot minyak pada sumur di *reservoir*.

*Jacket Platform* : Bagian kaki struktur bangunan lepas pantai tipe *fixed* yang menjaga struktur berdiri di tempat operasinya.

*Brace* : *Tubular* baja yang disambung untuk menguatkan kaki utama agar tetap mampu berdiri sesuai fungsinya.

*Chord* : Sambungan *tubular* baja yang merupakan kaki utama struktur pengeboran migas lepas pantai.

*Finite Element* : Metode analisis dengan membagi suatu benda yang akan dianalisis, menjadi beberapa bagian (elemen) dengan jumlah hingga (*finite*).

*Von-mises Stress* : Tegangan gabungan (*equivalen*) terhadap semua arah bidang elemen dengan pendekatan matriks.

*Meshing Sensitivity* : Analisis yang dilakukan untuk mencari kestabilan tegangan pada suatu model akibat variasi ukuran elemen.

*Fillet Joint* : Sambungan antara dua baja yang tegak lurus atau membentuk sudut.

*Toe Fillet* : Daerah ujung las-lasan yang berada pada sisi miring.

*Fixed Support* : Tumpuan berupa balok yang terjepit pada tiang atau kolom. Tumpuan ini dapat memberikan reaksi terhadap gaya *vertical*, *horizontal*, dan putaran momen.

Gaya aksial : Gaya yang bekerja tegak lurus terhadap penampang potong atau sejajar dengan sumbu batang.



## DAFTAR NOTASI

- $\beta$  = perbandingan antara *diameter brace* dengan *diameter chord*  
 $\tau$  = perbandingan antara ketebalan *brace* dengan *ketebalan chord*  
 $\gamma$  = perbandingan antara *diameter chord* dengan dua kali ketebalan *chord*  
 $\theta$  = sudut antara *brace* dan *chord* (derajat)  
 $\zeta$  = perbandingan *gap* dengan *diameter chord*  
 $\pi$  = phi (3.14)  
 $A$  = luasan penampang (in<sup>2</sup>)  
 $d$  = *diameter brace* (in)  
 $D$  = *diameter chord* (in)  
 $F$  = gaya (lbf)  
 $t$  = ketebalan *brace* (in)  
 $T$  = ketebalan *chord* (in)  
 $g$  = *gap* (in)  
 $R$  = jari-jari *chord*  
 $HSS (\sigma_{hot-spot})$  = *hot-spot stress* (psi)  
 $NS (\sigma_{nominal})$  = *nominal stress* (psi)  
 $SCF$  = *stress concentration factor*  
 $R^2$  = koefisien determinasi

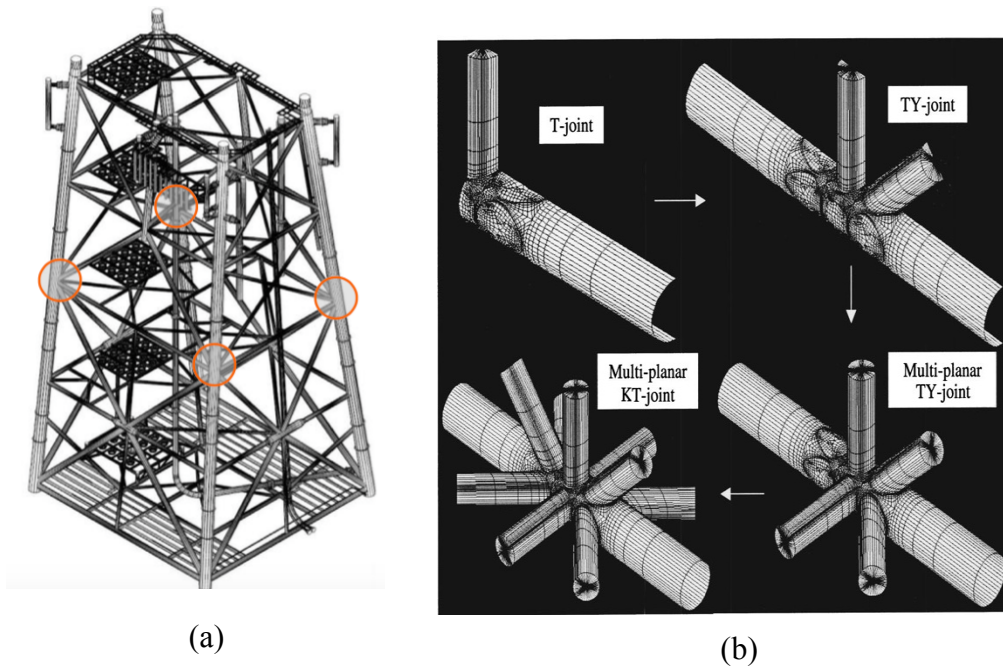


# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak dan gas, untuk mengeksploitasi minyak dan gas dari *reservoir* hidrokarbon yang berada di lepas pantai pada umumnya Indonesia menggunakan *jacket platform*. Struktur utama dari *jacket platform* terdiri dari *tubular member* yang dilas antara *brace* dan *chord* (Ahmadi et al, 2015). Pada saat *jacket platform* beroperasi, sambungan *tubular* yang terkena beban secara siklik akan mengalami pemusatan tegangan yang umumnya terjadi di daerah sambungan antara *chord* dan *brace* (*intersection line*) yang diakibatkan oleh diskontinuitas geometri antara *brace* dan *chord*. Lokasi titik pada *intersection line* yang mempunyai tegangan maksimum disebut *hot-spot* dan tegangan pada titik ini disebut dengan *hot-spot stress*.



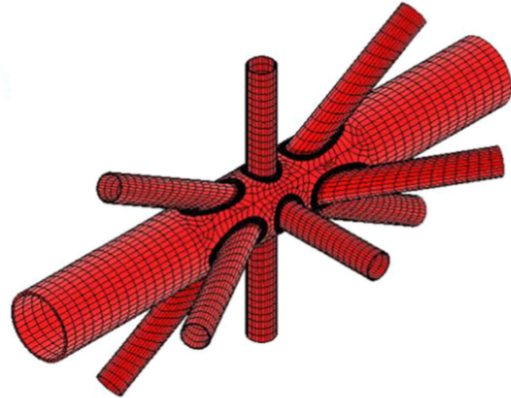
**Gambar 1.1** (a) *Jacket Platform* dengan sambungan *tubular multiplanar* (Ahmadi et al, 2015), (b) sambungan *tubular uniplanar* dan *multiplanar* (Lee et al, 2004)

*Hot-spot stress* dapat memacu percepatan timbulnya kelelahan pada struktur dan untuk menganalisa *hot-spot stress* pada *tubular joint* metode yang umum digunakan adalah metode elemen hingga (metode numerik) atau metode

eksperimen (Pang *et al*, 1995). Dalam penelitian ini digunakan metode elemen hingga (metode numerik) karena metode eksperimen dengan menganalisa model fisik akan membutuhkan biaya yang sangat tinggi. Besar dari *hot-spot stress* pada sambungan *tubular* ditentukan dengan parameter yang disebut *stress concentration factor* (SCF).



(a)



(b)

**Gambar 1.2** (a) Metode analisis dengan eksperimen (Ahmadi *et al*, 2015), (b) Metode analisis dengan elemen hingga (Ahmadi *et al*, 2016)

*Stress concentration factor* (SCF) adalah perbandingan antara *hot-spot stress* dengan tegangan *nominal*. SCF *uniplanar* dan *multiplanar* dapat ditentukan dengan persamaan parametrik yang sudah ada. Nilai SCF dipengaruhi oleh geometri sambungan *tubular*, nilai SCF untuk sambungan *tubular uniplanar* dapat menjadi lebih kecil atau lebih besar dibandingkan dengan nilai SCF sambungan *tubular multiplanar*, sehingga persamaan parametrik untuk menentukan SCF pada sambungan *tubular uniplanar* tidak dapat digunakan untuk menentukan SCF pada sambungan *tubular multiplanar*. Persamaan parametrik yang dapat digunakan untuk menentukan SCF pada *tubular uniplanar* dengan berbagai variasi pembebanan sudah sangat banyak dibandingkan dengan persamaan parametrik untuk menentukan SCF pada sambungan *tubular multiplanar* dengan berbagai macam variasi pembebanan, padahal sambungan *tubular* yang sering digunakan dilapangan adalah sambungan *tubular multiplanar*. Oleh karena itu, melakukan penelitian mengenai persamaan SCF pada sambungan *tubular multiplanar* sangat penting dilakukan.

Beberapa penelitian mengenai persamaan SCF pada sambungan *tubular multiplanar* pernah dilakukan oleh (Chiew *et al*, 2002) pada sambungan *tubular multiplanar* XX, (Wingerde *et al*, 2001) pada sambungan *tubular multiplanar* KK, dan Karamos *et al* (2002) pada sambungan *tubular multiplanar* DT.

Dalam penelitian ini akan dilakukan perumusan persamaan SCF pada sambungan *tubular multiplanar* K double T (KDT) dengan pembebanan aksial menggunakan metode elemen hingga. Penurunan persamaan SCF akan dilakukan dengan metode *regresi* mengacu pada penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana distribusi tegangan di sekitar garis sambungan pada sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\tau$ , dan  $\theta$  akibat beban aksial ?
2. Bagaimana besar dari *stress concentration factor* pada sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\tau$ , dan  $\theta$  akibat beban aksial?
3. Bagaimana persamaan *stress concentration factor* pada sambungan *tubular multiplanar* KDT akibat beban aksial ?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengetahui bagaimana distribusi tegangan di sekitar garis sambungan pada sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\tau$ , dan  $\theta$  akibat beban aksial
2. Mengetahui bagaimana besarnya *stress concentration factor* pada sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\tau$ , dan  $\theta$  akibat beban aksial
3. Mendapatkan persamaan *stress concentration factor* pada sambungan *tubular multiplanar* KDT akibat beban aksial

#### 1.4 Manfaat

Hasil dari analisis tugas akhir ini adalah untuk mengetahui distribusi tegangan di sekitar garis sambungan, nilai *stress concentration factor*, serta mendapatkan rumus *stress concentration factor* pada sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\tau$ , dan  $\theta$  akibat beban aksial.

#### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dan asumsi yang digunakan dalam Tugas Akhir ini antara lain:

1. Objek penelitian dari analisis ini adalah sambungan *tubular multiplanar* tipe KDT
2. Pemodelan yang dilakukan adalah pemodelan lokal dengan metode elemen hingga
3. Parameter yang divariasikan adalah  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\tau$ , dan  $\theta$
4. Metode yang digunakan untuk menentukan persamaan SCF adalah *regresi*
5. Tumpuan yang digunakan pada kedua ujung *chord* pada pemodelan lokal adalah *fixed support*
6. Pembebanan pada model lokal diasumsikan hanya beban aksial
7. Persamaan yang didapatkan hanya dapat digunakan pada *brace* yang dianalisis dengan batasan *range* parameter *non-dimensional* yang ditentukan.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam menyusun tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

##### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang penelitian yang dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang akan dicapai, manfaat yang diperoleh, batasan masalah serta sistematika penulisan Tugas Akhir.

##### BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini berisi tinjauan pustaka berupa penelitian-penelitian serta dasar teori yang berhubungan dan digunakan sebagai acuan atau pedoman dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir yang dijelaskan dengan bentuk diagram alir dan penjelasan secara detail, serta data-data yang dibutuhkan.

### BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil analisis yang diperoleh, baik berupa perhitungan maupun hasil *output* pemodelan yang didapatkan dari *software* ANSYS.

### BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan berupa uraian singkat dari analisis yang dilakukan sesuai dengan perumusan masalah. Serta saran yang bermanfaat untuk penelitian selanjutnya.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKAN DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Pada saat *jacket platform* beroperasi sambungan *tubular* yang merupakan komponen dari *jacket platform* akan terkena beban statis maupun beban berulang dinamis. Beban berulang yang mengenai sambungan *tubular* secara berulang akan mengakibatkan adanya pemusatan tegangan yang umumnya terjadi pada garis sambungan antara *brace* dan *chord* (*intersection line*) diakibatkan oleh adanya diskontinuitas geometri antara *brace* dan *chord*. Tegangan terbesar pada titik-titik tertentu sepanjang daerah sambungan tersebut disebut *hot-spot stress*, dan lokasi titik dimana terjadi tegangan terbesar disebut *hot-spot*.

Besar dari *hot-spot stress* dipengaruhi oleh suatu parameter yang disebut *stress concentration factor* (SCF) yaitu perbandingan antara *hot-spot stress* pada sambungan dengan tegangan *nominal*. Semakin besar SCF maka dapat memacu percepatan umur kelelahannya.

Nilai SCF dipengaruhi oleh bentuk geometri sambungan *tubular*, SCF pada sambungan *tubular uniplanar* bisa lebih kecil atau lebih besar dari sambungan *tubular multiplanar*. Oleh karena itu persamaan parametrik SCF sambungan *tubular uniplanar* tidak dapat digunakan untuk menentukan SCF sambungan *tubular multiplanar*. Persamaan parametrik untuk menentukan SCF pada sambungan *tubular multiplanar* sangat sedikit dibandingkan dengan persamaan parametrik untuk menentukan SCF pada sambungan *uniplanar*.

Beberapa persamaan SCF untuk sambungan *tubular multiplanar* diusulkan oleh Marshall dan Luyties, pada penelitian ini Marshall dan Luyties mengabaikan beban *bending* dan mengasumsikan hanya dikenai beban aksial saja. Penelitian ini juga memperkenalkan perhitungan parameter *alfa* ( $\alpha$ ) yang disebut dengan fungsi pengaruh (Marshall dan Luyties, 1982).

Penelitian lain dilakukan oleh (Chiew et al, 2000) dengan melakukan eksperimen terhadap sambungan *tubular multiplanar* XX dengan pembeban aksial, *in-plane bending* dan *out-of-plane bending* dengan lima *load cases* yang berbeda. Selain itu, penelitian lain juga dilakukan oleh Karamanos et al, penelitian ini

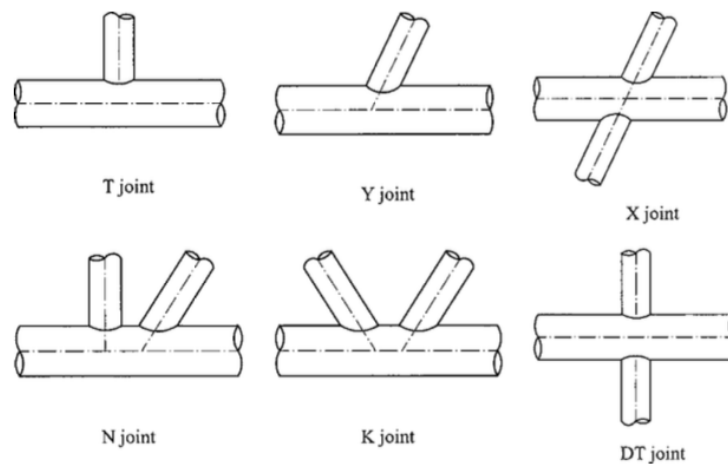
menurunkan persamaan SCF untuk sambungan *tubular multiplanar* DT dengan memperhatikan pengaruh *bending moment* pada *brace* dan *chord* (Karamanos et al, 2002).

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Tubular Joint

*Jacket platform* umumnya terdiri dari rangkaian pipa *tubular* yang di sambungkan satu sama lain dengan pengelasan, dimana sambungan ini disebut *tubular joint*. *Tubular joint* mempunyai bagian utama disebut *chord* yang memiliki *outside diameter* lebih besar dibandingkan dengan bagian cabang yang disebut *brace*. Bentuk *tubular joint* ini dapat berupa *T joint*, *K joint*, *Y joint* atau *complex joint*. Beberapa jenis *tubular joint* sederhana dapat dilihat pada Gambar 2.1.

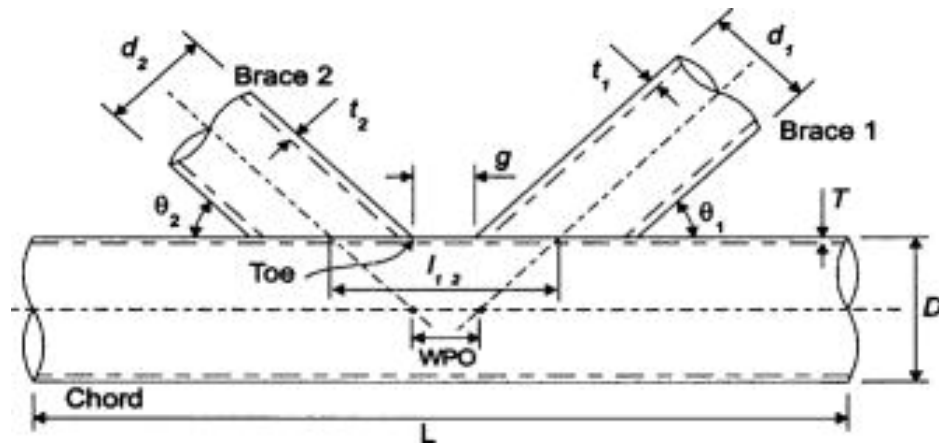
Dalam pengoperasiannya *tubular joint* yang mendapatkan beban berulang baik statis maupun dinamis serta adanya diskontinuitas geometri menyebabkan terjadinya pemusatan tegangan yang umumnya terjadi pada garis sambungan antara *brace* dan *chord* (*intersection line*).



**Gambar 2.1** Beberapa jenis *tubular joint* sederhana (Nazari et al, 2007)

*Tubular joint* memiliki dua parameter yaitu parameter utama dan parameter turunan (*non-dimensional*) yang mempengaruhi besar atau kecilnya konsentrasi tegangan. Parameter utama meliputi; panjang *chord* (L), *diameter chord* (D), ketebalan *chord* (T), *diameter brace* (d), ketebalan *brace* (t), jarak antar *brace* (gap) (g), sedangkan parameter turunan (parameter *non-dimensional*) meliputi parameter

*alpha* ( $\alpha$ ), parameter *beta* ( $\beta$ ), parameter *gamma* ( $\gamma$ ), parameter *tau* ( $\tau$ ). Parameter sambungan *tubular* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Parameter sambungan *tubular*

Parameter - parameter dalam *tubular joint* :

$$\alpha = 2L/D \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\beta = d/D \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\gamma = D/2T \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\tau = t/T \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\zeta = g/D \dots\dots\dots (2.5)$$

$\theta$  = sudut antara *brace* dengan *chord*                      L = panjang *chord*

D = *diameter chord*    T = tebal dinding *chord*

d = *diameter brace*    t = tebal dinding *brace*

Parameter geometri pada sambungan *tubular multiplanar* :

1. Parameter *Beta* adalah perbandingan dari *diameter brace* dan *diameter chord*. Pengaruh parameter ini sama dengan perbedaan antara beban terkonsentrasi di tengah bentangan dan beban terdistribusi dalam desain balok, sehingga parameter *beta* merupakan parameter yang sangat penting yang berhubungan dengan *ovalisasi* dari *chord*. Distribusi tegangan juga dipengaruhi oleh parameter ini.
2. Parameter *Tau* adalah perbandingan antara ketebalan *brace* dengan ketebalan dari *chord*. Parameter ini dianggap penting dalam memahami efisiensi dari sambungan *tubular*, sehingga parameter ini digunakan dalam definisi *punching shear*. Bertambahnya nilai *tau* berbanding lurus dengan harga SCF. Parameter ini juga mempengaruhi kekakuan *bending* relatif dari

*chord* dan *brace*, namun yang utama adalah berpengaruh atas tegangan *bending* dalam *brace* pada daerah sambungan.

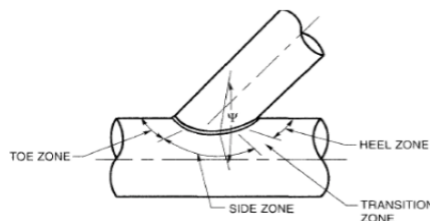
3. Parameter *Gamma* adalah perbandingan antara diameter dengan ketebalan *chord*. Nilai *gamma* yang besar menunjukkan *chord* yang lebih fleksibel dan lunak. *Gamma* muncul dalam persamaan kompatibilitas untuk *shell silindris*. Nilai SCF akan bertambah seiring dengan bertambahnya nilai *gamma*.

### 2.2.2 Multiplanar Tubular Joint

*Multiplanar joint* adalah sambungan *tubular* yang *braceny* terletak pada bidang yang berbeda-beda (lihat Gambar 1.1). Pada umumnya *jacket platform* menggunakan *multiplanar joint* dan jarang menggunakan *uniplanar joint*. Bentuk geometri ini berpengaruh dalam menentukan tegangan maksimum pada sambungan *tubular*, pada sambungan *tubular multiplanar* tegangan maksimum dapat menjadi lebih kecil atau lebih besar daripada sambungan *tubular uniplanar*. Oleh karena itu, untuk menganalisa sambungan *tubular multiplanar* persamaan parametrik sambungan *tubular uniplanar* tidak dapat langsung digunakan. Dalam menganalisis tegangan perbedaan parameter geometri dan mode pembebanan dapat menghasilkan hasil yang berbeda, sehingga mempelajari parameter geometri dan mode pembebanan sangat penting untuk desain kelelahan sambungan *tubular multiplanar*.

### 2.2.3 Desain Sambungan Las

Rangkaian *tubular joint* pada *jacket platform* disambung dengan pengelasan. Pada umumnya jenis sambungan yang digunakan untuk menyambung antar *tubular joint* adalah jenis sambungan *fillet joint* dan jenis lasan *toe fillet weld*. Jenis lasan *toe fillet weld* pada sambungan *tubular* dapat dilihat pada Gambar 2.3.

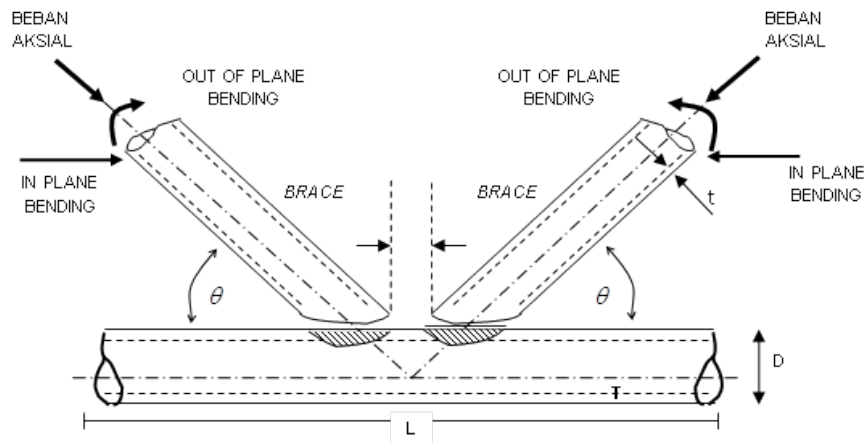


**Gambar 2.3** Sambungan dengan jenis lasan *toe fillet weld*

#### 2.2.4 Pembebanan Dasar

Pembebanan sangat berpengaruh dalam penentuan nilai *stress concentration factor* (SCF), berikut adalah pembebanan dasar pada *tubular joint* yaitu :

1. Beban aksial, beban yang bekerja pada sumbu o-x (searah dengan sumbu *brace*)
2. Beban *in-plane bending*, beban momen yang bekerja pada bidang x-z (searah sumbu *chord*)
3. Beban *out-of plane bending*, beban momen yang bekerja pada bidang x-y (tegak lurus dengan sumbu *chord*)



**Gambar 2.4** Mode pembebanan pada sambungan *tubular*

#### 2.2.5 Hot-Spot Stress

*Hot-spot stress* merupakan tegangan maksimum yang umumnya terjadi didekat/berada pada sambungan (*intersection*) antara *chord* dan *brace* atau daerah lasan, dimana *initial crack* biasanya mulai terjadi didaerah ini. Tegangan ini besarnya beberapa kali lebih besar dari tegangan *nominal*. *Hot-spot stress* terjadi pada struktur diakibatkan oleh adanya diskontinuitas geometri.

Ada tiga tipe tegangan dasar yang menyebabkan munculnya *hot-spot stress* :

##### 1. Tegangan Primer (Tipe A)

Tegangan primer (tipe A) adalah tegangan yang disebabkan oleh kombinasi dari gaya-gaya aksial dan momen-momen yang bekerja pada *jacket*. Tegangan primer (tipe A) maksimum terjadi di suatu lokasi pada sambungan yang disebut dengan *hot-spot stress*.

## 2. Tegangan Sekunder (Tipe B)

Tegangan sekunder tipe B adalah tegangan yang disebabkan oleh kondisi detail dari sambungan struktur seperti geometri sambungan yang buruk, perakitan yang buruk, kekuatan lokal sambungan yang bervariasi akibat penguatan yang terlalu kaku, penahanan-penahanan *brace* akibat pengelasan melingkar, dan lain-lain. Tegangan sekunder tipe B sifatnya cenderung akan memperbesar tegangan-tegangan primernya (tipe A).

## 3. Tegangan Sekunder Tipe C

Tegangan sekunder tipe C adalah tegangan yang disebabkan oleh faktor *metalurgis* akibat dari kesalahan pengelasan, seperti penetrasi las yang kurang, *undercut*, *heavy beading*, *porosity* las, laju pendinginan yang bervariasi, dan lain-lain. Karena faktor *metalurgis* sangat berpengaruh besar terhadap *hot-spot stress*, maka kualifikasi pengelas menjadi sangat penting untuk menjamin hasil las-lasan yang berkualitas tinggi yang konsisten.

### 2.2.6 Mencari Tegangan *Hot-Spot* Menggunakan Ekstrapolasi Linier

Untuk mengetahui besarnya *hot-spot stress* dengan pendekatan metode elemen hingga, perlu dilakukan ekstrapolasi linier dari tegangan yang berada pada daerah sambungan. Ada banyak sekali referensi yang memberikan prosedur untuk menentukan letak titik ekstrapolasi linier yang digunakan untuk menentukan besarnya *hot-spot stress*. Pada tugas akhir ini penulis mengacu pada DNVGL-RP-C203 untuk menentukan letak titik ekstrapolasi linier dalam menentukan besarnya *hot-spot stress*.

Besarnya *hot-spot stress* dapat ditentukan dengan menggunakan metode ekstrapolasi linier. Metode ekstrapolasi linier dilakukan dengan membuat dua titik yang membentuk suatu daerah yang akan di ekstrapolasi linier tegangan. Tegangan yang digunakan dalam ekstrapolasi linier untuk menentukan besarnya *hot-spot stress* adalah *maximum principal stress*. Ada banyak sekali penelitian dalam menentukan jarak dua titik yang akan diekstrapolasi linier. Pada tugas akhir ini, untuk menentukan jarak dua titik ekstrapolasi linier yang digunakan mengacu pada DNVGL-RP-C203. Pada DNVGL-RP-C203 jarak dari dua titik ekstrapolasi linier

dibedakan untuk kasus pada *brace* dan *chord*. Pada *chord* jarak titik ekstrapolasi juga dibedakan pada posisi *crown* dan *saddle*.

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *brace* adalah:

$$a = 0.2 \sqrt{r t} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$b = 0.65 \sqrt{r t} \dots\dots\dots (2.7)$$

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *chord* pada posisi *crown* adalah:

$$a = 0.2 \sqrt{r t} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$b = 0.4 \sqrt[4]{r t R T} \dots\dots\dots (2.9)$$

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *chord* pada posisi *saddle* adalah:

$$a = 0.2 \sqrt{r t} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$b = 2 \pi R \frac{5}{360} = \frac{\pi R}{36} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan:

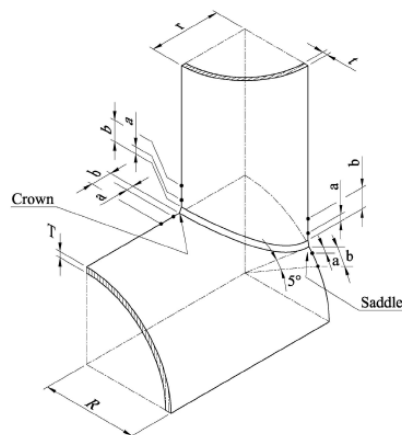
$r$  = jari-jari *brace*

$t$  = ketebalan *brace*

$R$  = jari-jari *chord*

$T$  = ketebalan *chord*

Berikut gambar daerah ekstrapolasi linier pada sambungan *tubular* sesuai dengan DNVGL-RP-C203 :



**Gambar 2.5** Ekstrapolasi linier berdasarkan DNVGL-RP-C203

### 2.2.7 Stress Concentration Factor (SCF)

Faktor konsentrasi tegangan adalah faktor pengali terhadap tegangan *nominal*, sehingga dicapai tegangan puncak atau maksimumnya di suatu titik kritis (*hot-spot stress*).

$$HSS = SCF \times NS \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan :

HSS = *Hot-spot Stress*

SCF = *Stress Concentration Factor*

NS = *Nominal Stress*

*Stress Concentration Factor* (SCF) merupakan suatu parameter kekuatan sambungan yang besarnya berbeda-beda untuk setiap jenis geometri sambungan. Semakin SCF maka akan semakin besar *hot-spot stress* yang dapat memacu percepatan timbulnya kelelahan pada struktur. Oleh karena itu, akurasi perhitungan SCF untuk setiap geometri sambungan yang berbeda menjadi sangat penting, karena dalam desain sambungan *tubular* pada struktur lepas pantai diinginkan umur lelah yang lama.

Beberapa pendekatan empirik untuk menentukan besaran SCF pada *brace* dan *chord* telah dilakukan. Pada tugas akhir ini validasi *range* parameter SCF pada *multiplanar tubular joint K double T* akan divalidasikan dengan *range* parameter SCF *eftymou*, yaitu:

$$\beta = 0.2 - 1, \zeta = -0.6 \beta \sin \theta, \tau = 0.2 - 1, \gamma = 8 - 32, \alpha = 8 - 40, \theta = 20-90 \text{ derajat}$$

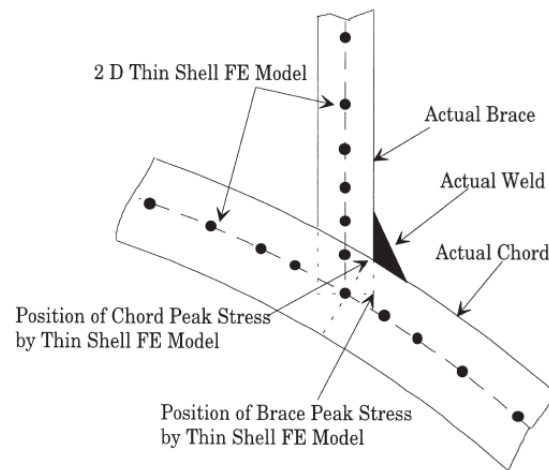
### 2.2.8 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah suatu metode numerik untuk menyelesaikan masalah-masalah teknik, termasuk untuk menyelesaikan masalah analisis struktur. Penggunaan metode elemen hingga untuk analisis *tubular joint* telah banyak digunakan oleh beberapa ahli seperti Kuang, Smedley, Dexter, Gibstein, dan lain sebagainya dan mendapatkan hasil yang baik apalagi ditunjang dengan ketepatan pemilihan elemen dan kehalusan *meshing*. Untuk permasalahan struktur dengan geometri yang sangat kompleks, metode elemen hingga adalah metode numerik yang akurat untuk menyelesaikan masalah terkait dengan sambungan *tubular* pada *jacket platform*, selain itu metode elemen hingga tidak membutuhkan biaya yang



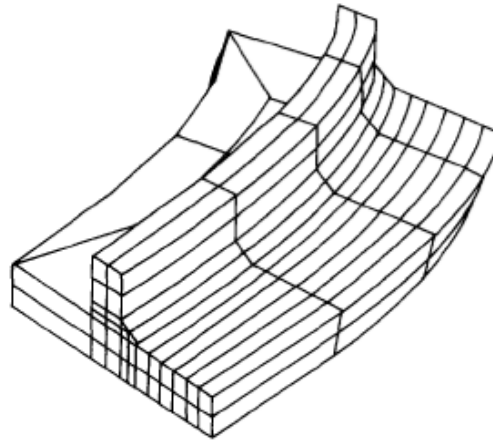
besar dan dapat menghemat waktu mengingat perkembangan teknologi komputer yang semakin pesat.

Analisis menggunakan metode elemen hingga harus memutuskan untuk membagi struktur dalam elemen hingga dan memilih jenis elemen yang dipakai dalam analisis, serta menentukan bentuk pembebanan dan kondisi batas atau tumpuan-tumpuan yang akan digunakan, analisis dengan metode ini digunakan untuk menentukan distribusi tegangan dan *hot-spot stress* (HSS). Masa awal perkembangan metode elemen hingga pada sambungan *tubular*, struktur sambungan *tubular* dimodelkan dengan elemen cangkang tipis (*thin shell element*) dua dimensi seperti pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Sambungan *tubular* dengan metode elemen hingga *thin shell* (Chang et al, 1999)

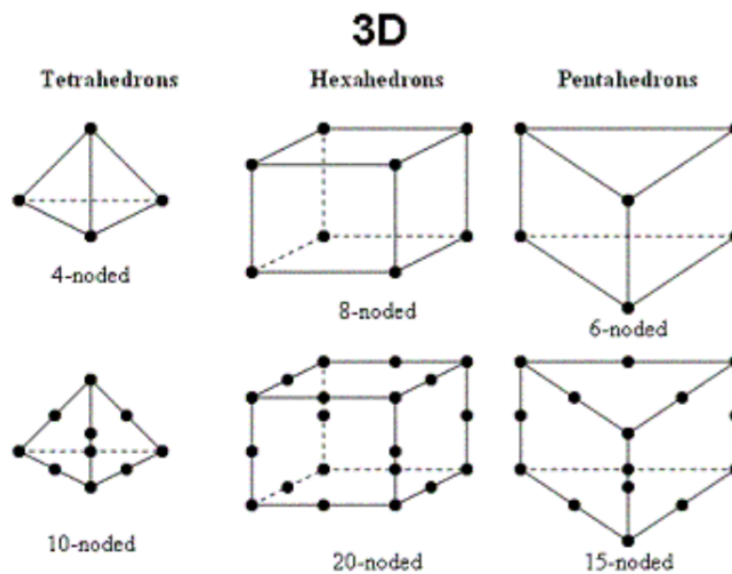
Perkembangan metode elemen hingga saat ini dapat memodelkan sambungan *tubular* dengan elemen cangkang tebal (*thick shell element*), elemen *solid* tiga dimensi dan bisa memodelkan las-lasan seperti pada Gambar 2.9. Selain itu, perkembangan teknologi komputer dan *software-software* berbasis metode elemen hingga memungkinkan untuk meningkatkan efisiensi dalam penyelesaian persamaan dengan memerlukan CPU-time yang lebih kecil dan waktu *running* yang cepat.



**Gambar 2.7** Sambungan *tubular* dengan metode elemen hingga *solid element*  
(Pang et al, 1995)

### 2.2.9 Pemodelan dengan Elemen *Solid* Tiga Dimensi

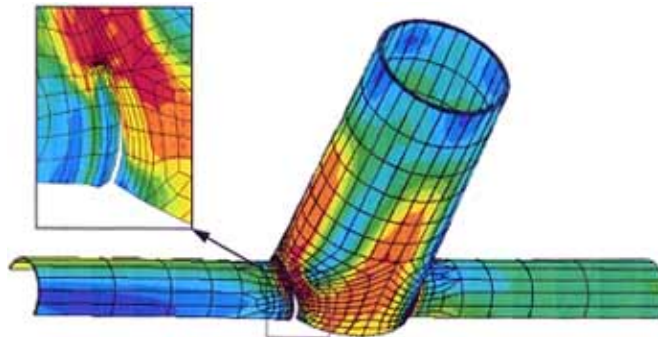
Jenis elemen *solid* tiga dimensi sangat bervariasi, pada dasarnya ada empat macam element *solid* tiga dimensi, yaitu *tetrahedron* dengan empat titik, *penta (weck)* dengan enam titik, *hexahedron (brick)* dengan delapan titik dan *piramid* dengan lima titik. Untuk menambah keakuratan dalam analisis tegangan maka dapat ditambah titik ditengah-tengah antara dua titik. Elemen *solid* tiga dimensi mempunyai kapasitas untuk analisis *plasticity*, *hyperelasticity*, *stress stiffening*, *creep*, *large deflection*, dan *large strain*.



**Gambar 2.8** Macam-macam tipe elemen *solid* tiga dimensi

### 2.2.10 Meshing

*Meshing* merupakan proses pembagian komponen menjadi sejumlah elemen sehingga pada saat komponen diberi beban akan terdistribusi secara seragam. Ukuran elemen *mesh* dapat mempengaruhi hasil, semakin besar elemen *mesh* maka hasil yang didapatkan akan semakin tidak konservatif. Oleh karena itu, untuk daerah yang ditinjau yaitu pada sambungan antara *chord* dan *brace* elemen *meshing* dibuat lebih kecil dan untuk daerah yang jauh dari tinjauan pengamatan elemen *meshing*-nya bisa dibuat agak besar. Selain itu, perlu juga dilakukan *meshing sensitivity* yaitu pengecekan jumlah dan ukuran *meshing* sehingga mendapatkan hasil tegangan yang konstan.



**Gambar 2.9** *Meshing* pada sambungan tubular

### 2.2.11 Penurunan Persamaan SCF dengan Regresi

Analisa regresi adalah suatu metode yang digunakan untuk mencari pola hubungan antara beberapa variabel. Apabila diasumsikan bahwa variasi dari SCF dengan parameter geometrik dalam bentuk pangkat dari masing-masing parameter tersebut, maka plot dari SCF dengan parameter tertentu dalam skala logaritma akan dapat digunakan dalam menghasilkan persamaan SCF.

Langkah-langkah membuat persamaan persamaan SCF dengan regresi adalah sebagai berikut (Soh et al,1991):

- Plotkan log SCF yang didapat dari tugas akhir menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software* metode elemen terhadap  $\log \left( \frac{t}{T} \right)$ , dari *regresi* linier didapatkan kemiringan  $m_1$ .
- Plotkan  $\log \frac{SCF}{\left( \frac{t}{T} \right)^{m_1}}$  terhadap  $\log \left( \frac{D}{2T} \right)$ , dari *regresi* linier didapatkan kemiringan  $m_2$ .

c. Plotkan  $\log \frac{SCF}{\left(\left(\frac{t}{T}\right)^{m1} \cdot \left(\frac{D}{2T}\right)^{m2}\right)}$  terhadap  $\log \left(\frac{d}{D}\right)$ , dari *regresi* linier didapatkan

kemiringan m3.

d. Plotkan  $\log \frac{SCF}{\left(\left(\frac{t}{T}\right)^{m1} \cdot \left(\frac{D}{2T}\right)^{m2} \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^{m3}\right)}$  terhadap  $\log (\sin \theta)$ , dari *regresi* linier didapatkan

kemiringan m4.

e. Besarnya c (konstanta), didapatkan dari *interception* pada log SCF (terdapat pada langkah a).

f. Sehingga persamaan SCF untuk sambungan *tubular multiplanar K double T* adalah :

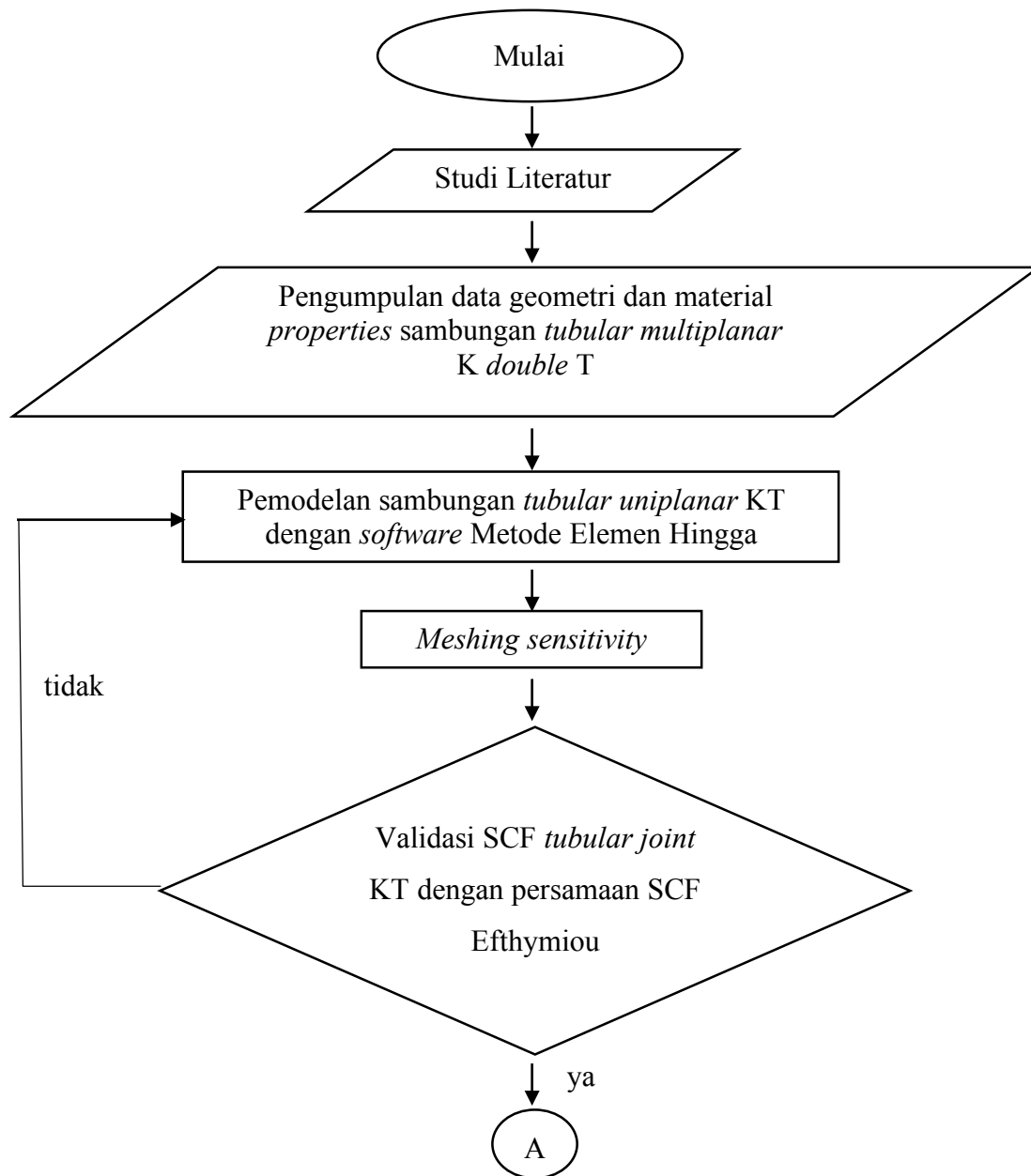
$$SCF = \left( c \left( \frac{t}{T} \right)^{m1} \cdot \left( \frac{D}{2T} \right)^{m2} \cdot \left( \frac{d}{D} \right)^{m3} (\sin \theta)^{m4} \right)$$

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Skema Diagram Alir

Untuk mempermudah pengerjaan Tugas Akhir ini, maka disusunlah alur penelitian sebagai berikut:



**Gambar 3.1** Diagram alir pengerjaan tugas akhir



**Gambar 3.1** Diagram alir pengerjaan tugas akhir (lanjutan)

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir

Prosedur dan langkah-langkah pengerjaan Tugas akhir ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

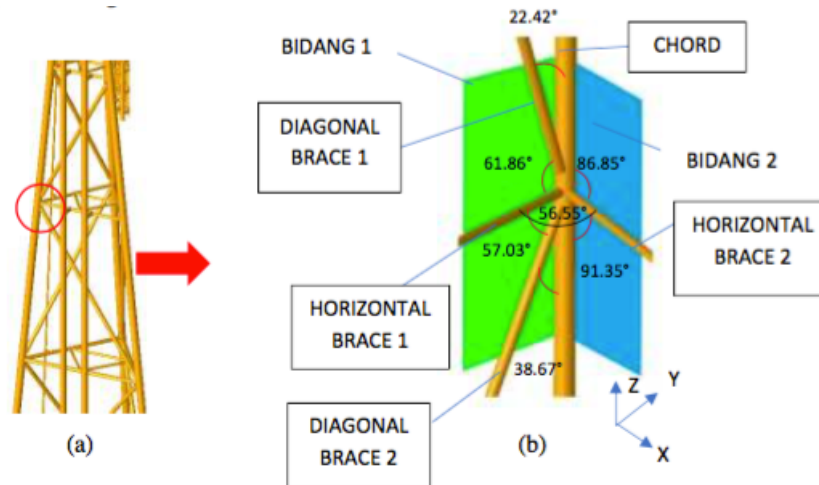
#### 1. Studi Literatur

Literatur yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah penelitian Tugas Akhir sebelumnya, jurnal-jurnal, serta buku-buku yang berkaitan

dengan Tugas Akhir ini.

## 2. Pengumpulan Data

Struktur yang di analisis dalam Tugas Akhir ini adalah sambungan *tubular multiplanar K double T* (lihat Gambar 3.2 (a)). Data geometri dan material *properties* sambungan *tubular* ini didapatkan dari struktur *global wellhead platform* Salawati.



**Gambar 3.2** (a) *Brace tripod wellhead platform* Salawati (b) Sambungan *tubular multiplanar K double T*

a. Data geometri sambungan *tubular multiplanar KDT* yang akan di analisis:

**Tabel 3.1** Geometri sambungan *tubular multiplanar K double T*

|                           | Thickness / t<br>(in) | Outside<br>Diameter / OD<br>(in) | Inside<br>Diameter / ID<br>(in) | Length / L<br>(in) |
|---------------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| <i>Chord</i>              | 0.688                 | 24                               | 22.62                           | 1032.68            |
| <i>Diagonal Brace 1</i>   | 0.5                   | 14                               | 13                              | 487.19             |
| <i>Diagonal Brace 2</i>   | 0.5                   | 14                               | 13                              | 611.55             |
| <i>Horizontal Brace 1</i> | 0.364                 | 10.75                            | 16.5                            | 278.22             |
| <i>Horizontal Brace 2</i> | 0.364                 | 10.75                            | 16.5                            | 149.80             |

b. Material *properties* sambungan *tubular multiplanar* KDT yang akan di analisis:

**Tabel 3.2** Material *properties* sambungan *tubular multiplanar* K double T

|              | <i>Spec dan Grade</i> | <i>Yield Strength / <math>\sigma_y</math></i><br>(ksi) | <i>Modulus Young / E</i><br>(ksi) | <i>Shear Modulus / G</i><br>(ksi) | <i>Poisson's Ratio / <math>\nu</math></i> |
|--------------|-----------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| <i>Chord</i> | API 5L<br>Grade 290   | 290  | 29007.5449                        | 11603.0175                        | 0.3                                       |
| <i>Brace</i> | API 5L<br>Grade B     | 241  | 29007.5449                        | 11603.0175                        | 0.3                                       |

c. Variasi parameter  $\beta$ ,  $\tau$ ,  $\gamma$ , dan  $\theta$  pada *multiplanar tubular joint* K double T:

*Range validity* yang digunakan untuk variasi parameter  $\beta$ ,  $\tau$ ,  $\gamma$ , dan  $\theta$  mengacu pada *range validity* berikut ini :

$$\beta = 0.2 - 1$$

$$\tau = 0.2 - 1$$

$$\gamma = 8 - 32$$

$$\theta = 20-90 \text{ derajat}$$

Berikut adalah variasi parameter *non-dimensional* dari sambungan *tubular multiplanar* KDT :

**Tabel 3.3** Variasi parameter sambungan *tubular multiplanar* KDT

| Model | d      | D      | t     | T     | $\beta$ (beta) | $\tau$ (tau) | $\gamma$ (gamma) | $\theta$ (teta) |
|-------|--------|--------|-------|-------|----------------|--------------|------------------|-----------------|
| No.   |        |        |       |       |                |              |                  |                 |
| 1     | 8.160  | 24.000 | 0.364 | 0.688 | 0.340          | 0.529        | 17.442           | 84.300          |
| 2     | 9.120  | 24.000 | 0.364 | 0.688 | 0.380          | 0.529        | 17.442           | 84.300          |
| 3     | 10.080 | 24.000 | 0.364 | 0.688 | 0.420          | 0.529        | 17.442           | 84.300          |
| 4     | 10.750 | 24.000 | 0.364 | 0.688 | 0.448          | 0.529        | 17.442           | 84.300          |
| 5     | 10.750 | 24.000 | 0.234 | 0.688 | 0.448          | 0.340        | 17.442           | 84.300          |
| 6     | 10.750 | 24.000 | 0.261 | 0.688 | 0.448          | 0.379        | 17.442           | 84.300          |
| 7     | 10.750 | 24.000 | 0.289 | 0.688 | 0.448          | 0.420        | 17.442           | 84.300          |
| 8     | 10.750 | 24.000 | 0.364 | 0.828 | 0.448          | 0.440        | 14.491           | 84.300          |
| 9     | 10.750 | 24.000 | 0.364 | 0.774 | 0.448          | 0.470        | 15.504           | 84.300          |
| 10    | 10.750 | 24.000 | 0.364 | 0.727 | 0.448          | 0.501        | 16.506           | 84.300          |
| 11    | 10.750 | 24.000 | 0.364 | 0.688 | 0.448          | 0.529        | 17.442           | 80.000          |
| 12    | 10.750 | 24.000 | 0.364 | 0.688 | 0.448          | 0.529        | 17.442           | 85.000          |
| 13    | 10.750 | 24.000 | 0.364 | 0.688 | 0.448          | 0.529        | 17.442           | 90.000          |
| 14    | 6.138  | 19.800 | 0.241 | 0.688 | 0.310          | 0.350        | 14.390           | 88.500          |



**Tabel 3.3** Variasi parameter sambungan *tubular multiplanar* KDT (lanjutan)

| Model | d     | D      | t     | T     | $\beta$ (beta) | $\tau$ (tau) | $\gamma$ (gamma) | $\theta$ (teta) |
|-------|-------|--------|-------|-------|----------------|--------------|------------------|-----------------|
| No.   |       |        |       |       |                |              |                  |                 |
| 15    | 6.344 | 19.825 | 0.248 | 0.688 | 0.320          | 0.360        | 14.408           | 88.000          |
| 16    | 6.551 | 19.850 | 0.255 | 0.688 | 0.330          | 0.370        | 14.426           | 87.500          |
| 17    | 6.956 | 19.875 | 0.268 | 0.688 | 0.350          | 0.390        | 14.444           | 87.000          |
| 18    | 7.164 | 19.900 | 0.270 | 0.675 | 0.360          | 0.400        | 14.741           | 86.500          |
| 19    | 7.372 | 19.925 | 0.267 | 0.650 | 0.370          | 0.410        | 15.327           | 86.000          |
| 20    | 7.781 | 19.950 | 0.269 | 0.625 | 0.390          | 0.430        | 15.960           | 85.500          |
| 21    | 7.990 | 19.975 | 0.270 | 0.600 | 0.400          | 0.450        | 16.646           | 85.000          |
| 22    | 8.200 | 20.000 | 0.265 | 0.575 | 0.410          | 0.460        | 17.391           | 84.500          |
| 23    | 8.643 | 20.100 | 0.264 | 0.550 | 0.430          | 0.480        | 18.273           | 84.000          |
| 24    | 8.855 | 20.125 | 0.257 | 0.525 | 0.440          | 0.490        | 19.167           | 83.500          |
| 25    | 9.292 | 20.200 | 0.250 | 0.500 | 0.460          | 0.500        | 20.200           | 83.000          |

### 3. Pemodelan sambungan *tubular uniplanar* KT dengan *software* ANSYS

Struktur sambungan *tubular uniplanar* KT dimodelkan menggunakan ANSYS sesuai dengan data geometri dan material yang dipaparkan pada Tabel 3.1 dan 3.2. Untuk batas tumpuan pada ujung-ujung *chord* menggunakan tumpuan jepit dan besarnya pembebanan pada model diasumsikan dengan arah pembebanan mengikuti persamaan parametrik SCF Efthymiou dengan kondisi *balance axial load*.

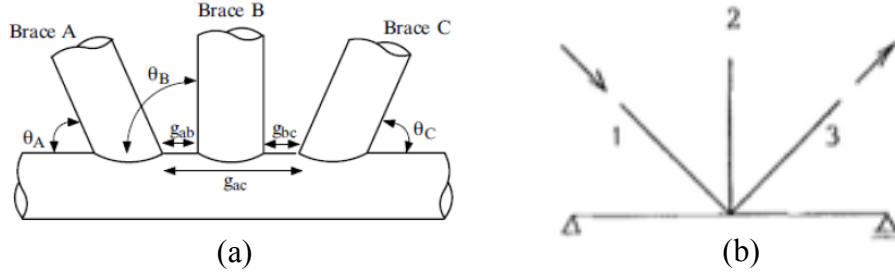
Sambungan las dimodelkan dengan kerapatan *meshing* di sekitar daerah las lebih halus agar didapatkan hasil tegangan yang teliti, hal ini dilakukan karena pada sambungan atau didekat sambungan tersebut konsentrasi tegangan umumnya terjadi. Jenis sambungan dan lasan yang digunakan yaitu *fillet joint*, dan *fillet weld*.

### 4. *Meshing Sensitivity*

Setelah sambungan *tubular uniplanar* KT dimodelkan, dilakukan pengecekan *meshing* pada sambungan *tubular uniplanar* KT disetiap titik elemen. Pengecekan dilakukan untuk mendapatkan jumlah dan ukuran elemen yang sehingga didapatkan hasil tegangan yang konstan.

##### 5. Validasi model *uniplanar tubular joint* KT dengan persamaan SCF Efthymiou

Pada tahap ini SCF hasil dari pemodelan lokal *uniplanar tubular joint* KT divalidasikan dengan persamaan parametrik SCF Efthymiou dengan kondisi *balance axial load*. Validasi yang baik presentase *error*nya harus seminimal mungkin agar model lokal *tubular joint* KT dapat dikatakan valid.



**Gambar 3.3** (a) Sambungan *tubular uniplanar* KT (b) *Balance axial load* pada sambungan *tubular* KT

Persamaan Efthymiou untuk sambungan *tubular uniplanar* KT:

-*Balance Axial Load*

Central brace (brace B)

$$SCF_C = \tau_B^{0.9} \gamma^{0.5} (0.67 - \beta_B^2 + 1.16\beta_B) \sin\theta_B \left[ \frac{\sin\theta_{max}}{\sin\theta_{min}} \right]^{0.3} \left[ \frac{\beta_{max}}{\beta_{min}} \right]^{0.3} x [1.64 + 0.29\beta_B^{(-0.38)} ATAN(8xMAX(\zeta_{AB}, \zeta_{BC}))] \dots\dots\dots (3.1)$$

$$SCF_B = 1 + [SCF_C] (1.97 - 1.57\beta_B^{0.25}) \tau_B^{(-0.14)} \sin^{0.7}\theta_B \dots\dots\dots (3.2)$$

Outer brace (brace A)

$$SCF_C = \tau_B^{0.9} \gamma^{0.5} (0.67 - \beta_A^2 + 1.16\beta_A) \sin\theta_A \left[ \frac{Max(\sin\theta_A, \sin\theta_C)}{Min(\sin\theta_A, \sin\theta_C)} \right]^{0.3} \left[ \frac{Max(\beta_A, \beta_C)}{Min(\beta_A, \beta_C)} \right]^{0.3} x [1.64 + 0.29\beta_B^{(-0.38)} ATAN(8\zeta_{AC})] \dots\dots\dots (3.3)$$

$$SCF_B = 1 + [SCF_C] (1.97 - 1.57\beta_A^{0.25}) \tau_A^{(-0.14)} \sin^{0.7}\theta_A \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\zeta_{AC} = \zeta_{AB} + \zeta_{BC} + \frac{\beta_B}{\sin\theta_B} \dots\dots\dots (3.5)$$

##### 6. Pemodelan sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan *software* ANSYS

Struktur sambungan *tubular multiplanar* KDT dimodelkan secara menyeluruh setelah model *tubular uniplanar* KT dianggap valid. Data geometri dan material menggunakan data yang dipaparkan pada Tabel 3.1 dan 3.2 sesuai dengan data pemodelan *global*.

Untuk hasil tegangan yang lebih teliti sambungan las dimodelkan sama seperti memodelkan sambungan las pada sambungan *tubular uniplanar* KT yaitu dengan jenis sambungan dan lasan yang digunakan yaitu *fillet joint* dan *fillet weld*.

#### 7. Menghitung *stress concentration factor* (SCF)

Setelah diketahui *hotspot stress* dan tegangan *nominalnya*, SCF dapat dicari dengan persamaan:

$$SCF = \frac{HSS}{\sigma_{nominal}} \dots\dots\dots (3.6)$$

#### 8. Menentukan persamaan SCF dengan metode regresi

Langkah-langkah untuk menentukan persamaan SCF dengan regresi adalah sebagai berikut:

- a. Plotkan log SCF yang didapat dari tugas akhir menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software* metode elemen terhadap  $\log \left(\frac{t}{T}\right)$ , dari regresi linier didapatkan kemiringan m1.
- b. Plotkan  $\log \frac{SCF}{\left(\frac{t}{T}\right)^{m1}}$  terhadap  $\log \left(\frac{D}{2T}\right)$ , dari regresi linier didapatkan kemiringan m2.
- c. Plotkan  $\log \frac{SCF}{\left(\left(\frac{t}{T}\right)^{m1} \cdot \left(\frac{D}{2T}\right)^{m2}\right)}$  terhadap  $\log \left(\frac{d}{D}\right)$ , dari regresi linier didapatkan kemiringan m3.
- d. Plotkan  $\log \frac{SCF}{\left(\left(\frac{t}{T}\right)^{m1} \cdot \left(\frac{D}{2T}\right)^{m2} \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^{m3}\right)}$  terhadap  $\log (\sin \theta)$ , dari regresi linier didapatkan kemiringan m4.
- e. Besarnya c (konstanta), didapatkan dari *interception* pada log SCF (terdapat pada langkah a).
- f. Sehingga persamaan SCF untuk sambungan tubular multi-planar *KdoubleT* adalah:

$$SCF = \left( c \left(\frac{t}{T}\right)^{m1} \cdot \left(\frac{D}{2T}\right)^{m2} \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^{m3} (\sin \theta)^{m4} \right) \dots\dots\dots (3.7)$$

9. Membandingkan SCF hasil analisis dengan metode elemen hingga dan SCF hasil dari persamaan baru

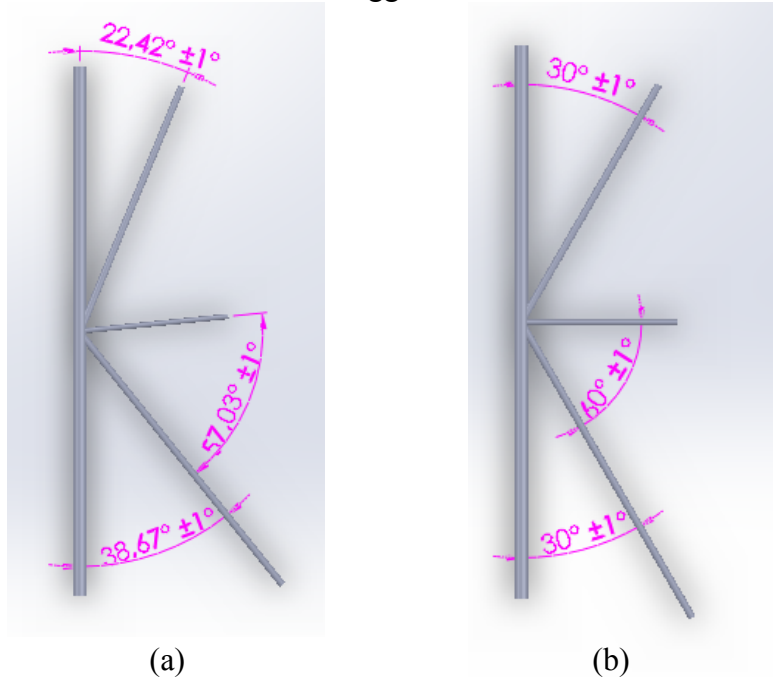
Tahap ini dilakukan setelah mendapatkan persamaan SCF baru dan SCF dari hasil analisis menggunakan metode elemen hingga untuk melihat apakah SCF dari hasil persamaan baru dan SCF dari analisis metode elemen hingga sama.

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pemodelan Elemen Hingga Sambungan *Tubular Uniplanar* KT

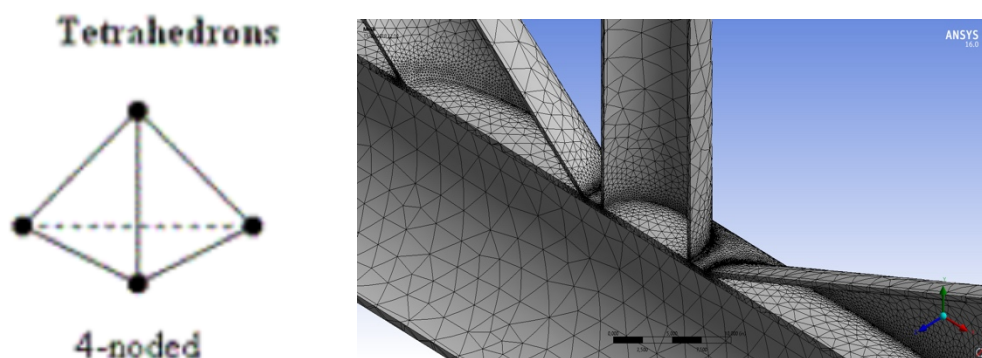
Sambungan *tubular uniplanar* KT seperti pada Gambar 4.1 (a) dan (b) dimodelkan dengan *software* SOLIDWORK 2013. *Diameter*, panjang, ketebalan, *material properties* serta sudut antara *brace* dengan *brace* dan sudut antara *brace* dengan *chord* pada model (a) dimodelkan menggunakan data dari model *global* yang telah dipaparkan pada Tabel 3.1, 3.2 dan Gambar 3.2. Pada model sambungan *tubular uniplanar* KT Gambar (b) *diameter*, panjang, ketebalan, serta *material properties brace* dan *chord* dimodelkan menggunakan data dari model *global* sedangkan sudut antara *brace* dengan *brace* dan sudut antara *brace* dengan *chord* dimodelkan dengan sudut A dan sudut C (lihat Gambar 3.3) sama. Sambungan *tubular uniplanar* KT (b) dimodelkan untuk dibandingkan dengan model sambungan *tubular uniplanar* KT (a). Model sambungan *tubular uniplanar* KT (a) dan (b) yang telah dimodelkan dengan *software* SOLIDWORK 2013 disimpan dalam format .IGES atau .IGS agar dapat diimport ke dalam *software* ANSYS untuk dilakukan analisis elemen hingga.



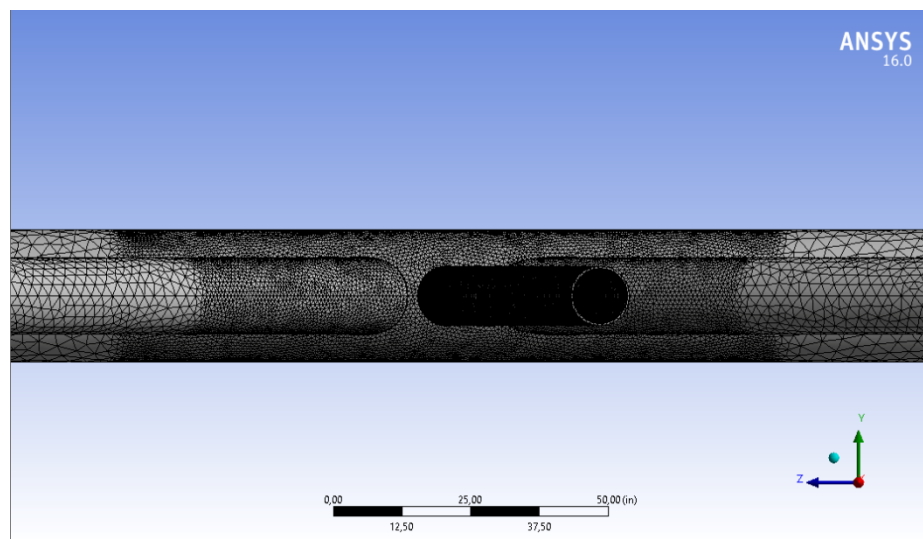
**Gambar 4.1** (a) Model sambungan *tubular uniplanar* KT sesuai data *global* (b)

Model sambungan *tubular uniplanar* KT sudut A dan C sama

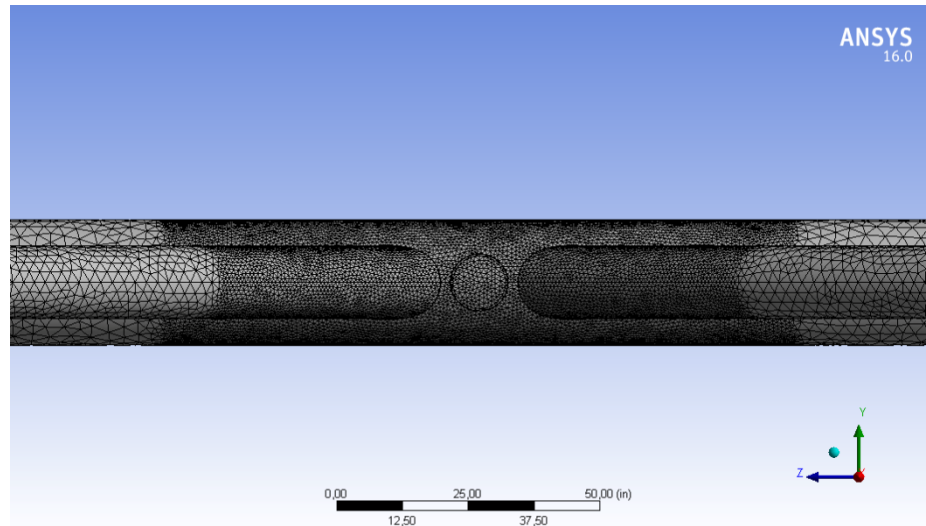
Setelah model dari *software* SOLIDWORK 2013 disimpan dalam format .IGES atau .IGS diimport ke *software* ANSYS, selanjutnya dilakukan *meshing* pada model. *Meshing* pada model dapat dilakukan secara otomatis atau bisa juga diatur besar kecilnya elemen pada bagian tertentu pada model. Dalam tugas akhir ini *meshing* pada model dilakukan dengan mengatur ukuran *meshing* pada daerah sambungan antara *brace* dan *chord* dibuat lebih kecil daripada ukuran *meshing* pada daerah yang jauh dari tinjauan (lihat Gambar 4.3). *Meshing* yang digunakan adalah elemen *solid* tiga dimensi dengan tipe elemen linier *tetrahedron* dengan jumlah titik sebanyak empat pada setiap elemen (lihat Gambar 4.2).



**Gambar 4.2** Elemen solid tiga dimensi *tetrahedron*



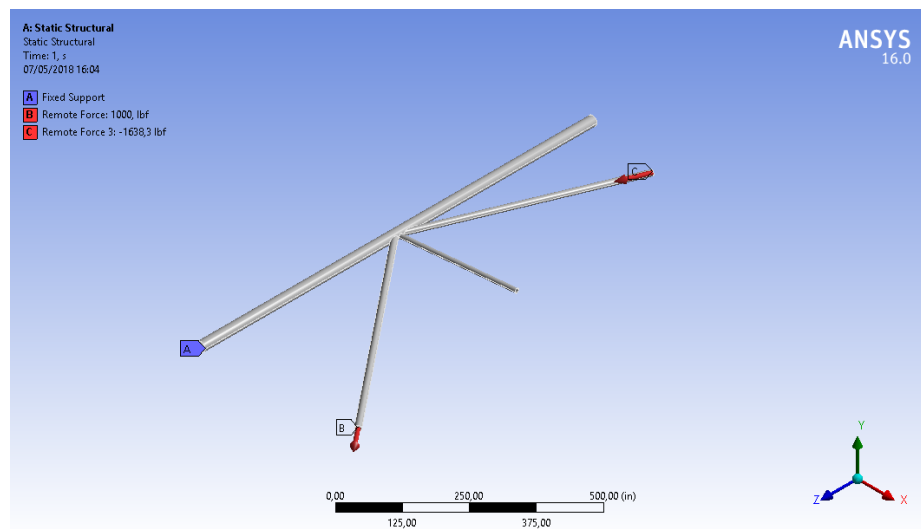
(a)



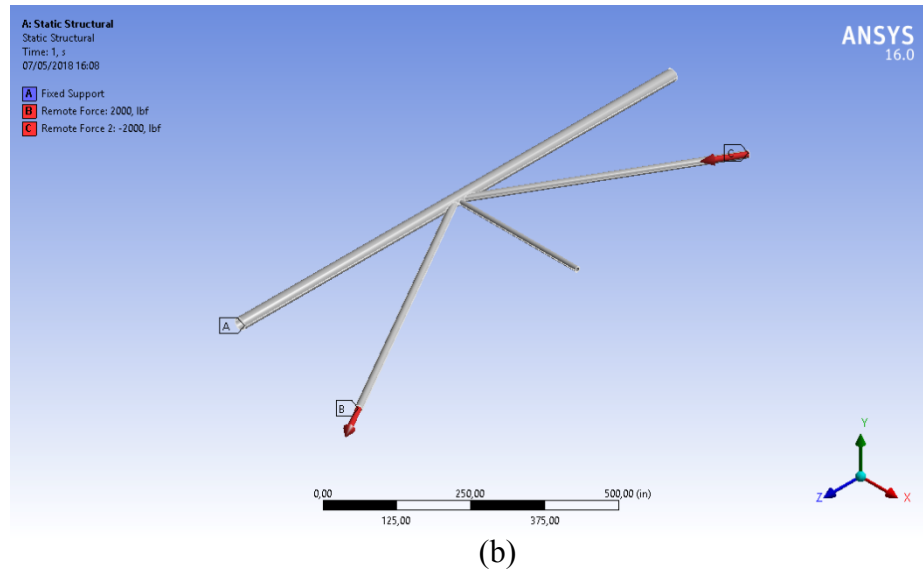
(b)

**Gambar 4.3** (a) *Meshing* pada model sambungan *tubular uniplanar* KT sesuai model *global* (b) *Meshing* pada model sambungan *tubular uniplanar* KT sudut A dan C sama

Setelah *meshing* selesai, dilakukan pembebanan dan pemberian kondisi batas pada sambungan *tubular uniplanar* KT. Kondisi batas untuk analisis struktur diasumsikan menggunakan *fixed support* pada kedua ujung *chord* sehingga dianggap tidak ada beban dari arah yang sejajar dengan *chord*, dan pembebanan diasumsikan menggunakan gaya aksial tarik dan tekan pada *brace* dengan besar yang seimbang (lihat Gambar 4.4).



(a)



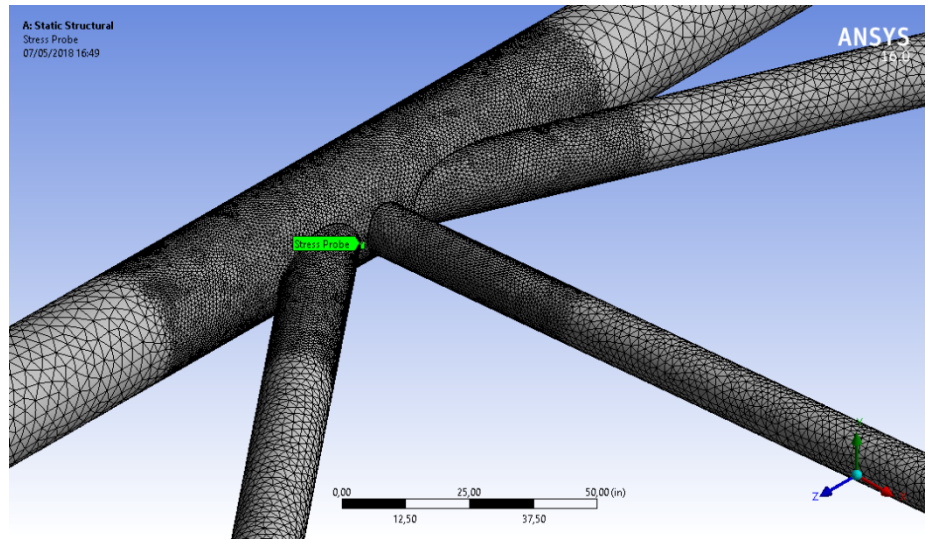
**Gambar 4.4** (a) Kondisi batas dan pembebanan pada model sambungan *tubular uniplanar* KT sesuai model *global* (b) Kondisi batas dan pembebanan pada model sambungan *tubular uniplanar* KT sudut A dan C sama

#### 4.2 Analisis Sensitifitas *Meshing* Sambungan *Tubular Uniplanar* KT (*Meshing Sensitivity*)

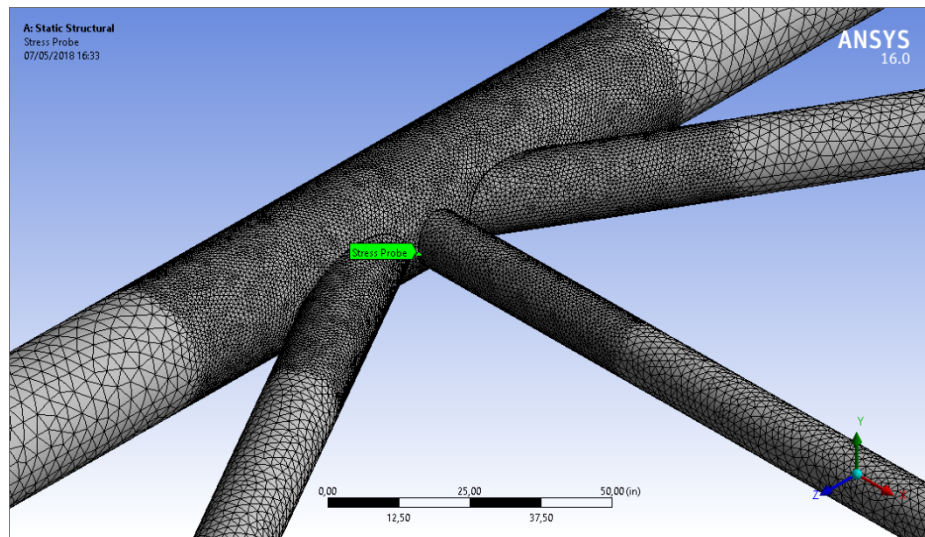
Analisis sensitifitas *meshing* dilakukan untuk mendapatkan konsistensi dan keakuratan tegangan dengan memvariasikan ukuran *mesh* pada daerah sambungan antara *brace* dan *chord* sampai didapatkan ukuran *mesh* yang tepat. Ukuran *mesh* yang tepat dapat dilihat dari tegangan yang dihasilkan semakin konstan.

Pada tugas akhir ini analisis sensitifitas *meshing* pada model sambungan *tubular uniplanar* KT dilakukan dengan memvariasikan ukuran *mesh* 1 inch sampai dengan 0.5 inch dan melihat tegangan pada titik yang ditentukan (lihat Gambar 4.5) sampai didapatkan tegangan yang konstan. Kondisi pembebanan diasumsikan menggunakan kondisi *balance axial load* yaitu memberikan gaya aksial tekan dan tarik pada *brace*. Hasil dari analisis sensitifitas *meshing* pada model sambungan *tubular uniplanar* KT akibat gaya aksial dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2.





(a)



(b)

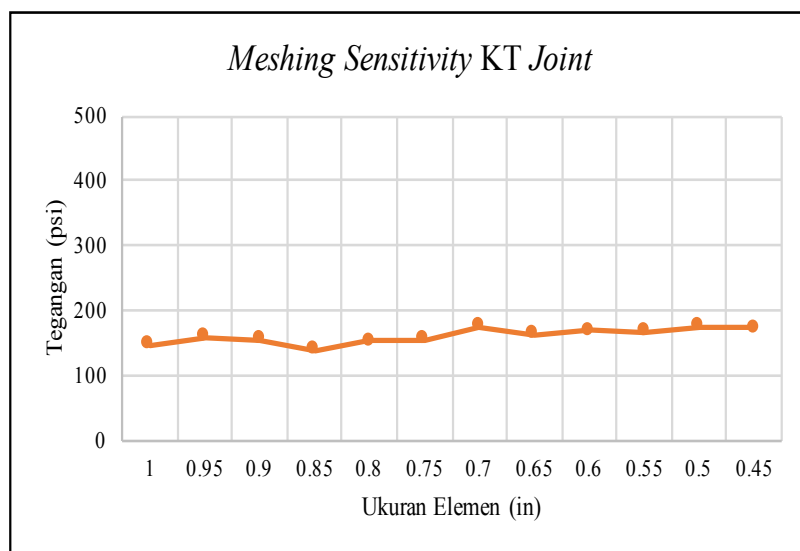
**Gambar 4.5** (a) Letak titik tinjau analisis *meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular uniplanar* KT sesuai model *global* (b) Letak titik tinjau analisis *meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular uniplanar* KT sudut A dan C sama

**Tabel 4.1** *Meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular uniplanar* KT sesuai model *global*

| <i>Meshing Sensitivity</i> |                   |                  |
|----------------------------|-------------------|------------------|
| Ukuran Elemen<br>(in)      | Tegangan<br>(psi) | <i>Error</i> (%) |
| 1                          | 147.710           |                  |
| 0.95                       | 160.370           | 8.571            |

**Tabel 4.1** *Meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular uniplanar* KT sesuai model *global* (lanjutan)

| <i>Meshing Sensitivity</i> |                |           |
|----------------------------|----------------|-----------|
| Ukuran Elemen (in)         | Tegangan (psi) | Error (%) |
| 0.9                        | 155.850        | 2.818     |
| 0.85                       | 138.740        | 10.979    |
| 0.8                        | 152.670        | 10.040    |
| 0.75                       | 155.410        | 1.795     |
| 0.7                        | 176.370        | 13.487    |
| 0.65                       | 164.130        | 6.940     |
| 0.6                        | 170.070        | 3.619     |
| 0.55                       | 166.900        | 1.864     |
| 0.5                        | 174.790        | 4.727     |
| 0.45                       | 173.310        | 0.847     |



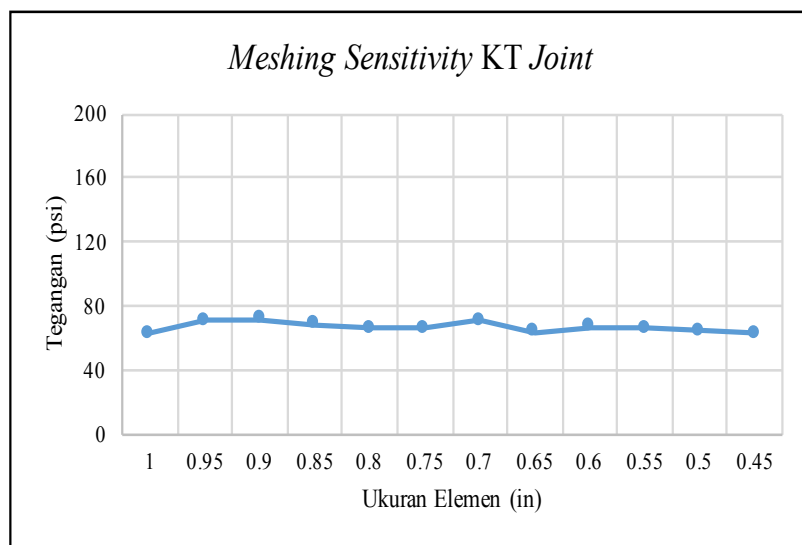
**Gambar 4.6** Grafik *meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular uniplanar* KT sesuai model *global*

**Tabel 4.2** *Meshing sensitivity* akibat gaya aksial pada model sambungan *tubular uniplanar* KT dengan sudut A dan C sama

| <i>Meshing Sensitivity</i> |                |            |
|----------------------------|----------------|------------|
| Ukuran Elemen (in)         | Tegangan (psi) | Change (%) |
| 1                          | 63.362         |            |
| 0.95                       | 70.905         | 10.638     |

**Tabel 4.2** *Meshing sensitivity* akibat gaya aksial pada model sambungan *tubular uniplanar* KT dengan sudut A dan C sama (lanjutan)

| <i>Meshing Sensitivity</i> |                |            |
|----------------------------|----------------|------------|
| Ukuran Elemen (in)         | Tegangan (psi) | Change (%) |
| 0.9                        | 71.527         | 0.870      |
| 0.85                       | 68.285         | 4.748      |
| 0.8                        | 65.552         | 4.169      |
| 0.75                       | 65.962         | 0.376      |
| 0.7                        | 71.497         | 7.742      |
| 0.65                       | 63.689         | 12.260     |
| 0.6                        | 66.695         | 4.507      |
| 0.55                       | 66.086         | 0.922      |
| 0.5                        | 64.571         | 2.346      |
| 0.45                       | 63.289         | 2.026      |



**Gambar 4.7** Grafik *meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular uniplanar* KT dengan sudut A dan C sama

Setelah melakukan analisis sensitifitas *meshing* maka dipilih ukuran elemen yang akan digunakan untuk analisis berikutnya. Ukuran elemen yang dipilih adalah ukuran elemen pada saat tegangan konstan, dari Tabel 4.1 dan 4.2 ukuran elemen menunjukkan tegangan konstan pada saat ukuran elemen 0.65 in.

#### 4.3 Validasi Tegangan *Nominal* Sambungan *Tubular Uniplanar* KT

Tegangan *nominal* pada analisis lokal ini berupa tegangan *von mises* yang akan divalidasi dengan persamaan tegangan *nominal*. Tegangan *von-mises* adalah tegangan gabungan (*equivalent*) antara *shear stress* dan *axial stress* terhadap semua arah bidang *element*.

Peninjauan tegangan *nominal* pada analisis lokal ini menggunakan *probe stress* yang ada pada *software* elemen hingga dan dilakukan pada daerah sekitar tengah *brace* yang jauh dari sambungan antara *brace* dan *chord* untuk menghindari diskontinuitas, dimana pada daerah sambungan yang mengalami diskontinuitas tersebut merupakan daerah dimana tegangan maksimum (*hot-spot stress*) terjadi. Validasi tegangan *von-mises* dilakukan dengan membandingkan hasil dari peninjauan 96 tegangan disekitar tengah *brace* tersebut dengan tegangan yang didapatkan menggunakan persamaan 4.1. Validasi yang baik presentase *error*nya harus seminimal atau sekecil mungkin agar model lokal mendekati model yang sebenarnya (lihat Tabel 4.4 dan 4.6).

$$\sigma_{nominal} = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (4.1)$$

**Tabel 4.3** Tegangan *nominal* dengan persamaan 4.1 pada model sambungan *tubular uniplanar* KT dengan sudut sesuai model *global*

|                                      |   |                     |        |                 |
|--------------------------------------|---|---------------------|--------|-----------------|
| Luas Area<br><i>Horizontal Brace</i> | (3.14 x 5.375 <sup>2</sup> ) - (3.14 x 5.011 <sup>2</sup> ) | =                   | 11.871 | in <sup>2</sup> |
| Luas Area<br><i>Diagonal Brace</i>   | (3.14 x 7 <sup>2</sup> ) - (3.14 x 6.5 <sup>2</sup> )       | =                   | 21.195 | in <sup>2</sup> |
| Tegangan                             | F/A   |                     |        |                 |
| <i>Diagonal Brace 2</i>              | 47.1809389  | lbf/in <sup>2</sup> |        |                 |

**Tabel 4.4** Validasi tegangan *nominal* pada model sambungan *tubular uniplanar* KT sesuai model *global*

| Tegangan pada <i>Diagonal Brace 2</i> |                |        |        |        |
|---------------------------------------|----------------|--------|--------|--------|
| Asumsi Gaya (lbf)                     | 1000           |        |        |        |
| No                                    | Tegangan (psi) |        |        |        |
| 1                                     | 47.120         | 47.036 | 47.094 | 47.031 |
| 2                                     | 47.078         | 47.097 | 47.071 | 47.022 |

**Tabel 4.4** Validasi tegangan *nominal* pada model sambungan *tubular uniplanar*  
KT sesuai model *global* (lanjutan)

| Tegangan pada <i>Diagonal Brace 2</i> |                |        |        |        |
|---------------------------------------|----------------|--------|--------|--------|
| Asumsi Gaya (lbf)                     | 1000           |        |        |        |
| No                                    | Tegangan (psi) |        |        |        |
| 3                                     | 47.037         | 47.048 | 47.092 | 47.088 |
| 4                                     | 47.106         | 47.163 | 47.086 | 47.077 |
| 5                                     | 47.044         | 47.113 | 47.072 | 47.085 |
| 6                                     | 47.018         | 47.052 | 47.109 | 47.074 |
| 7                                     | 47.038         | 47.034 | 47.097 | 47.077 |
| 8                                     | 47.031         | 47.012 | 47.066 | 47.051 |
| 9                                     | 47.038         | 47.031 | 47.046 | 47.039 |
| 10                                    | 47.037         | 47.075 | 47.029 | 47.032 |
| 11                                    | 47.036         | 47.037 | 47.025 | 47.026 |
| 12                                    | 47.185         | 47.245 | 47.029 | 46.989 |
| 13                                    | 47.395         | 47.071 | 47.043 | 47.101 |
| 14                                    | 47.043         | 47.080 | 47.135 | 47.080 |
| 15                                    | 47.080         | 47.155 | 47.045 | 47.048 |
| 16                                    | 47.140         | 47.113 | 47.072 | 47.096 |
| 17                                    | 47.151         | 47.147 | 47.086 | 47.093 |
| 18                                    | 47.096         | 47.050 | 47.036 | 47.095 |
| 19                                    | 47.085         | 47.077 | 47.211 | 47.049 |
| 20                                    | 47.078         | 47.079 | 47.12  | 47.061 |
| 21                                    | 47.075         | 47.094 | 47.09  | 47.145 |
| 22                                    | 47.080         | 47.060 | 47.003 | 47.086 |
| 23                                    | 47.083         | 47.076 | 47.131 | 47.067 |
| 24                                    | 47.034         | 47.040 | 47.073 | 47.136 |
| Jumlah                                | 4519.602       |        |        |        |
| Tegangan Rata-Rata (psi)              | 47.0791875     |        |        |        |
| Tegangan (F/A)(lbf/in <sup>2</sup> )  | 47.1809389     |        |        |        |
| Error (%)                             | 0.00140969     |        |        |        |

**Tabel 4.5** Tegangan *nominal* dengan persamaan 4.1 pada model sambungan *tubular uniplanar* KT sudut A dan C sama

Berikut ini adalah hasil dari validasi tegangan *nominal* :

|                                      |   |                     |        |                 |
|--------------------------------------|---|---------------------|--------|-----------------|
| Luas Area<br><i>Horizontal Brace</i> | $(3.14 \times 5.375^2) - (3.14 \times 5.011^2)$ | =                   | 11.871 | in <sup>2</sup> |
| Luas Area<br><i>Diagonal Brace</i>   | $(3.14 \times 7^2) - (3.14 \times 6.5^2)$       | =                   | 21.195 | in <sup>2</sup> |
| Tegangan                             | F/A   |                     |        |                 |
| <i>Diagonal Brace 2</i>              | 94.3618778                                      | lbf/in <sup>2</sup> |        |                 |

**Tabel 4.6** Validasi tegangan *nominal* pada model sambungan *tubular uniplanar* KT dengan sudut A dan C sama

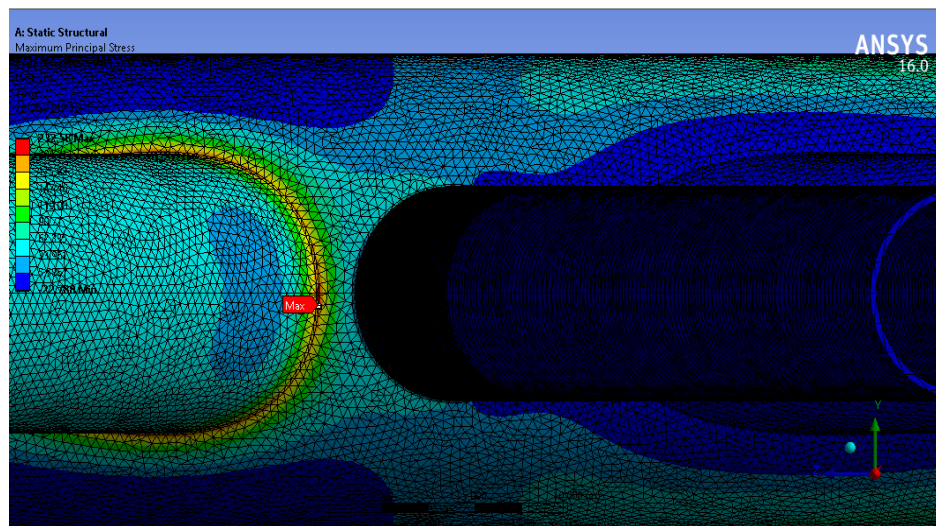
| Tegangan pada <i>Diagonal Brace 2</i> |                |        |        |        |
|---------------------------------------|----------------|--------|--------|--------|
| Asumsi Gaya (lbf)                     | 2000           |        |        |        |
| No                                    | Tegangan (psi) |        |        |        |
| 1                                     | 94.390         | 94.447 | 94.376 | 94.534 |
| 2                                     | 94.471         | 94.434 | 94.523 | 94.547 |
| 3                                     | 94.369         | 94.465 | 94.566 | 94.556 |
| 4                                     | 94.451         | 94.375 | 94.559 | 94.522 |
| 5                                     | 94.535         | 94.451 | 94.528 | 94.528 |
| 6                                     | 94.470         | 94.655 | 94.591 | 94.481 |
| 7                                     | 94.422         | 94.514 | 94.432 | 94.520 |
| 8                                     | 94.433         | 94.517 | 94.420 | 94.327 |
| 9                                     | 94.509         | 94.421 | 94.373 | 94.372 |
| 10                                    | 94.464         | 94.349 | 94.381 | 94.423 |
| 11                                    | 94.298         | 94.332 | 94.295 | 94.363 |
| 12                                    | 94.307         | 94.300 | 94.452 | 94.227 |
| 13                                    | 94.304         | 94.317 | 94.201 | 94.140 |
| 14                                    | 94.278         | 94.308 | 94.218 | 94.261 |
| 15                                    | 94.256         | 94.125 | 94.177 | 94.103 |
| 16                                    | 94.195         | 94.295 | 94.198 | 94.405 |
| 17                                    | 94.347         | 94.243 | 94.295 | 94.241 |
| 18                                    | 94.149         | 94.208 | 94.270 | 94.240 |
| 19                                    | 94.060         | 94.260 | 94.070 | 94.197 |
| 20                                    | 94.242         | 94.200 | 94.209 | 94.181 |
| 21                                    | 94.384         | 94.345 | 94.159 | 94.098 |

**Tabel 4.6** Validasi tegangan *nominal* pada model sambungan *tubular uniplanar* KT dengan sudut A dan C sama (lanjutan)

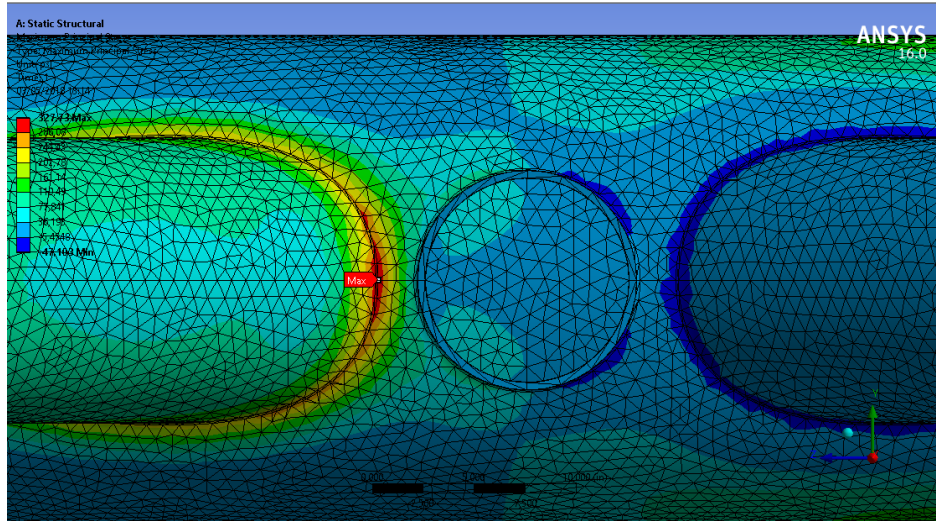
| Tegangan pada <i>Diagonal Brace 2</i> |                |        |        |        |
|---------------------------------------|----------------|--------|--------|--------|
| Asumsi Gaya (lbf)                     | 2000           |        |        |        |
| No                                    | Tegangan (psi) |        |        |        |
| 22                                    | 94.218         | 94.141 | 94.128 | 94.300 |
| 23                                    | 94.253         | 94.301 | 94.322 | 94.362 |
| 24                                    | 94.431         | 94.296 | 94.290 | 94.339 |
| Jumlah                                | 9056.835       |        |        |        |
| Tegangan Rata-Rata (psi)              | 94.3420313     |        |        |        |
| Tegangan (F/A)(lbf/in <sup>2</sup> )  | 94.3618778     |        |        |        |
| Error (%)                             | 0.000274959    |        |        |        |

#### 4.4 Tegangan *Hot-Spot* pada Sambungan *Tubular Uniplanar* KT

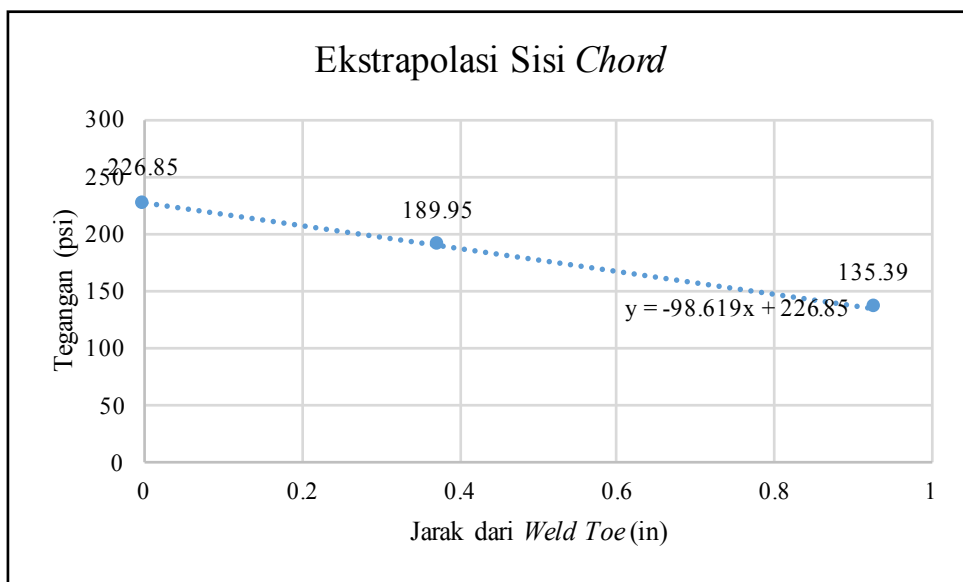
Metode yang dilakukan untuk mengetahui tegangan *hot-spot* pada model struktur setelah diberikan beban, kondisi batas dan dilakukan *meshing sensitivity* adalah ekstrapolasi linier. Tegangan yang akan di ekstrapolasi linier pada tugas akhir ini untuk mendapatkan tegangan *hot-spot* pada *brace* dan *chord* adalah *maximum principal stress*. Tengan *hot-spot* yang ditinjau hanya pada *brace* dimana tegangan maksimum terjadi. Lookasi tegangan maksimum dan hasil ekstrapolasi linier pada *brace* dan *chord* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.8** Lokasi tegangan maksimum pada model sambungan *tubular uniplanar* KT dengan sudut sesuai model *global*

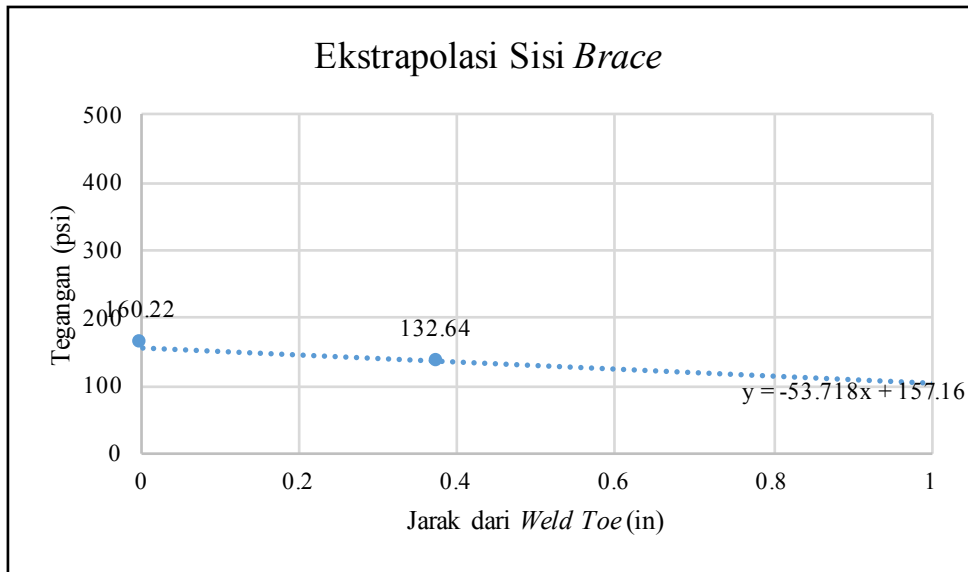


**Gambar 4.9** Lokasi tegangan maksimum pada model sambungan *tubular uniplanar* KT sudut A dan C sama

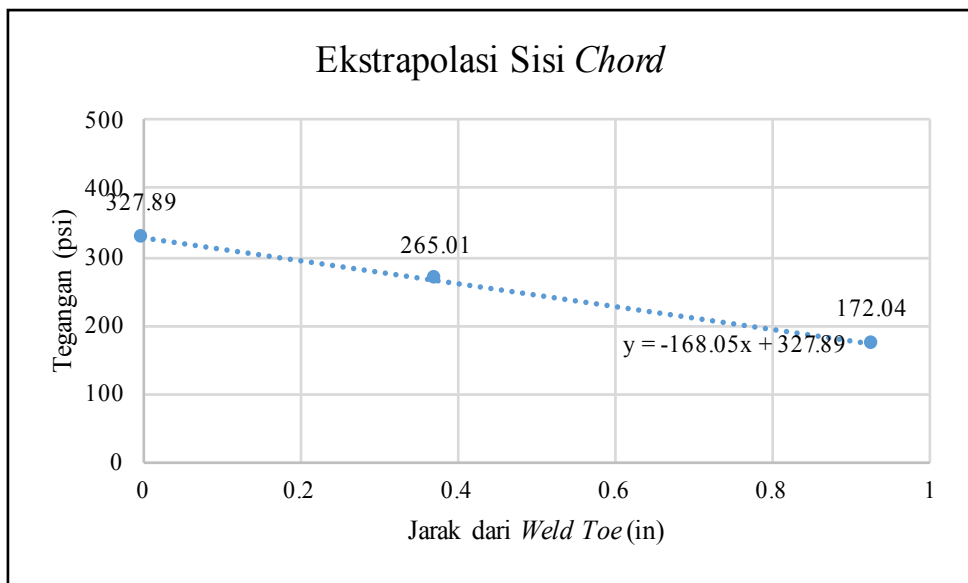


**Gambar 4.10** Grafik ekstrapolasi linier sisi *chord* pada model sambungan *tubular uniplanar* KT sesuai model *global*

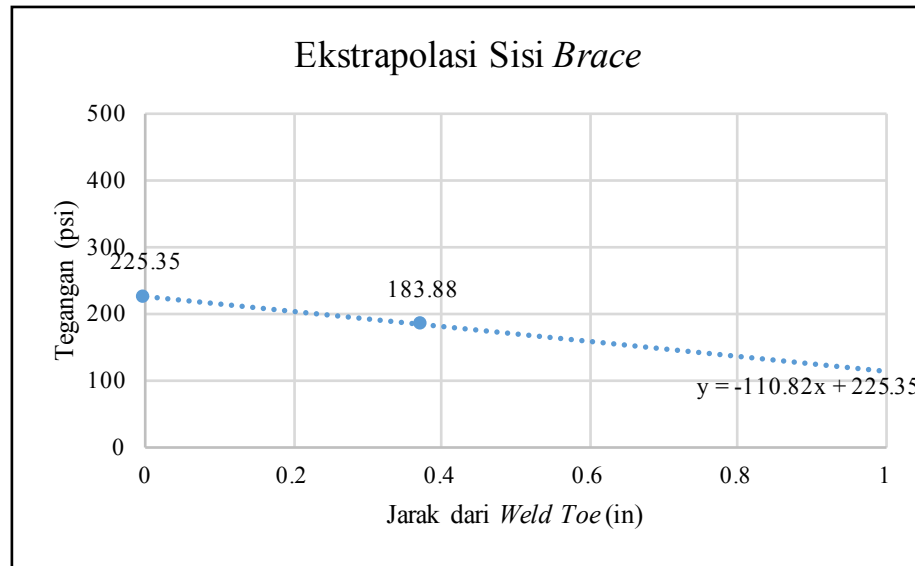




**Gambar 4.11** Grafik ekstrapolasi linier sisi *brace* pada model sambungan *tubular uniplanar* KT sesuai model *global*



**Gambar 4.12** Grafik ekstrapolasi linier sisi *chord* pada model sambungan *tubular uniplanar* KT sudut A dan C sama



**Gambar 4.13** Grafik ekstrapolasi linier sisi *brace* pada model sambungan *tubular uniplanar* KT sudut A dan C sama

Gambar grafik di atas menunjukkan bahwa sumbu y adalah tegangan *maximum principal stress* dengan satuan psi dan untuk sumbu x adalah jarak dari *weld toe*. Pada titik 0 gambar grafik tersebut menunjukkan tegangan *hot-spot* pada *brace* maupun *chord*.

#### 4.5 Faktor Konsentrasi Tegangan Sambungan *Tubular Uniplanar* KT

Setelah tegangan *hot-spot* dan tegangan *nominal* didapatkan, faktor konsentrasi tegangan dengan menggunakan metode elemen hingga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.2. Faktor konsentrasi tegangan tersebut akan divalidasi menggunakan faktor konsentrasi tegangan hasil dari perhitungan menggunakan persamaan Efthymiou dengan kondisi pembebanan yang sama. Hasil perhitungan faktor konsentrasi tegangan dan presentase *error*-nya dapat dilihat pada Tabel 4.7

$$SCF = \sigma_{hot-spot} / \sigma_{nominal} \dots \dots \dots (4.2)$$

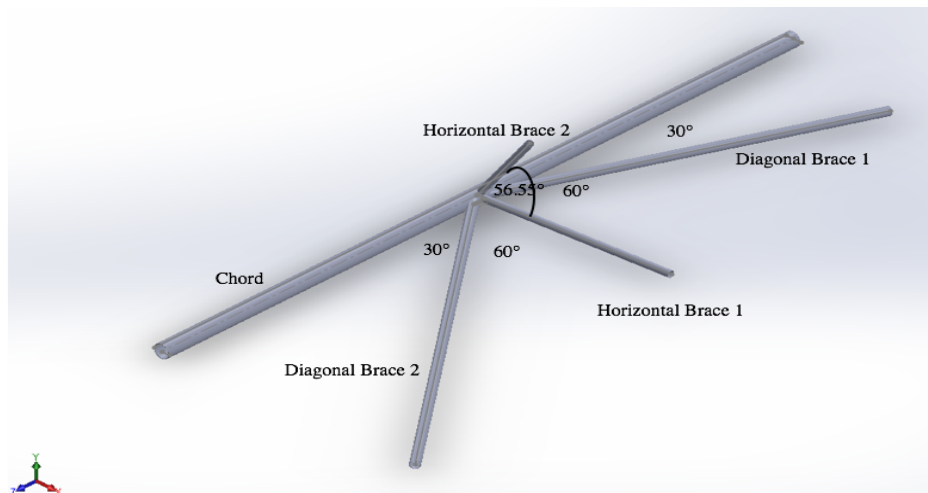
**Tabel 4.7** Validasi SCF metode elemen hingga dengan SCF menggunakan persamaan Efthymiou

| Model | SCF FEM      |              | SCF Efthymiou |              | Error (%)    |              |
|-------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|       | <i>Chord</i> | <i>Brace</i> | <i>Chord</i>  | <i>Brace</i> | <i>Chord</i> | <i>Brace</i> |
| a     | 4.82         | 3.4          | 4.98          | 3.24         | 3.21         | 4.94         |
| b     | 3.47         | 2.39         | 3.44          | 2.33         | 0.87         | 2.58         |

Dari Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa *stress concentration factor* dengan pendekatan elemen hingga dan persamaan Efthymiou presentase *error*nya tidak besar sehingga model sambungan *tubular uniplanar* KT dianggap valid.

#### 4.6 Pemodelan Elemen Hingga Sambungan *Tubular Multiplanar* KDT

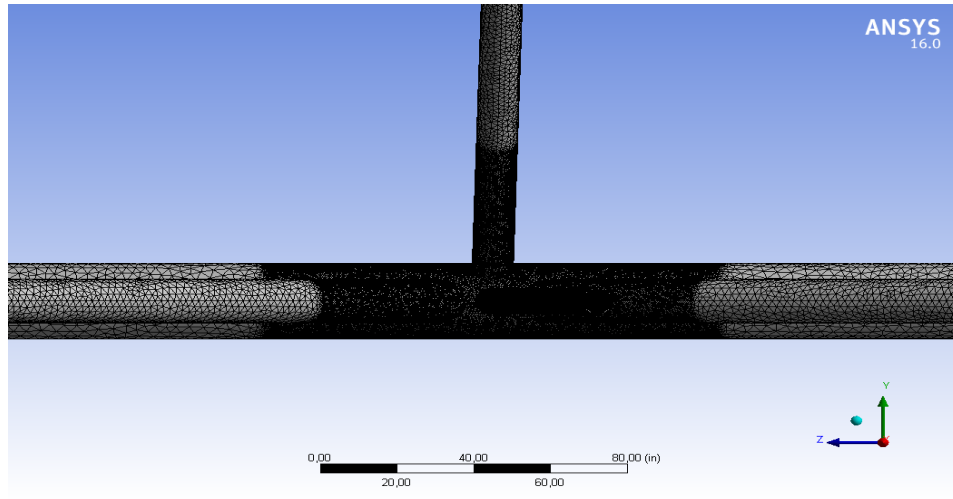
Sambungan *tubular multiplanar* KDT (lihat Gambar 4.14) dimodelkan dengan menambahkan *horizontal brace* 2 (lihat Gambar 3.2) pada model sambungan *tubular uniplanar* KT dengan sudut sesuai model *global* yang telah divalidasikan. Penambahan *horizontal brace* 2 dimodelkan menggunakan *software* SOLIDWORK 2013. Ukuran *diameter* ketebalan, panjang, *material properties* serta sudut antara *brace* dengan *brace* dan *brace* dengan *chord* disesuaikan dengan data dari model *global* yang telah dipaparkan pada Tabel 3.1, 3.2, dan Gambar 3.2. Sambungan *tubular multiplanar* KDT yang telah dimodelkan di SOLIDWORK 2013 disimpan dalam format .IGES atau .IGS agar dapat diimport ke dalam *software* ANSYS untuk dianalisis elemen hingga.



**Gambar 4.14** Model sambungan *tubular multiplanar* KDT sesuai data *global*

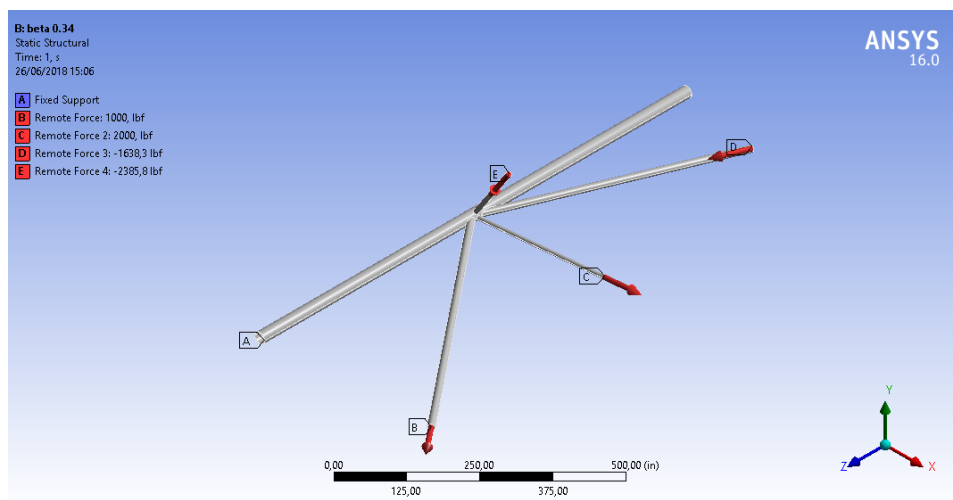
Setelah model dari *software* SOLIDWORK 2013 di import ke *software* ANSYS, selanjutnya dilakukan *meshing*, pembebanan, dan pemberian kondisi batas pada model. *Meshing* pada model dilakukan dengan membagi menjadi dua *region*, *region* yang jauh dari sambungan antara *brace* dan *chord* dan *region* disekitar sambungan antara *brace* dan *chord*. Ukuran *meshing* pada *region* yang jauh dari sambungan antara *brace* dan *chord* dibuat lebih besar daripada ukuran *meshing* pada *region* disekitar sambungan antara *brace* dan *chord* (lihat Gambar

4.15). Pada tugas akhir ini elemen *meshing* yang digunakan adalah elemen *solid* tiga dimensi dengan tipe elemen linier *tetrahedron* dengan jumlah titik sebanyak empat pada setiap elemen (lihat Gambar 4.2).



**Gambar 4.15** *Meshing* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT sesuai model *global*

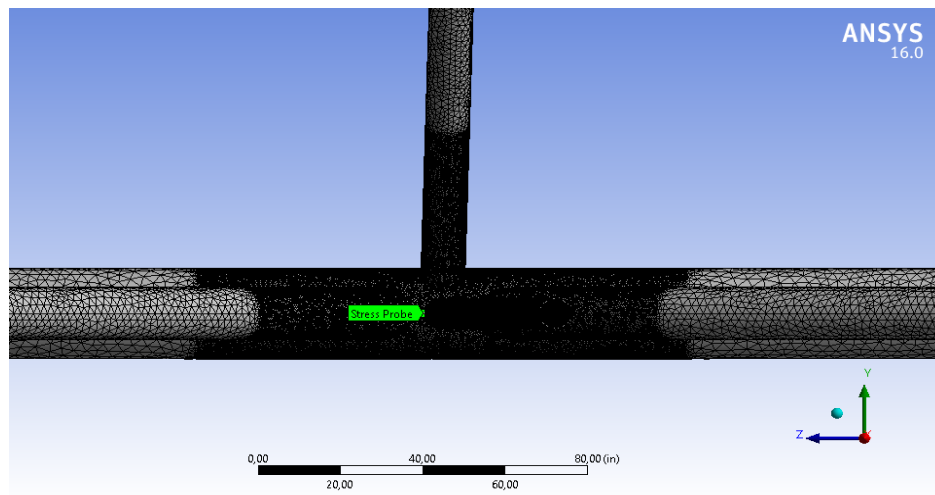
Setelah dilakukan *meshing*, selanjutnya dilakukan pembebanan dan pemberian kondisi batas pada *brace* dan *chord*. Untuk analisis struktur pada tugas akhir ini pembebanan meliputi gaya tarik dan tekan aksial yang dilakukan pada *brace* dan pada kedua ujung *chord* diasumsikan menggunakan kondisi batas *fixed support* sehingga dianggap tidak ada beban dari arah yang sejajar dengan *chord* (lihat Gambar 4.16).



**Gambar 4.16** Kondisi batas dan pembebanan pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT sesuai model *global*

#### 4.7 Analisis Sensitifitas *Meshing* Sambungan *Tubular Multiplanar* KDT (*Meshing Sensitivity*)

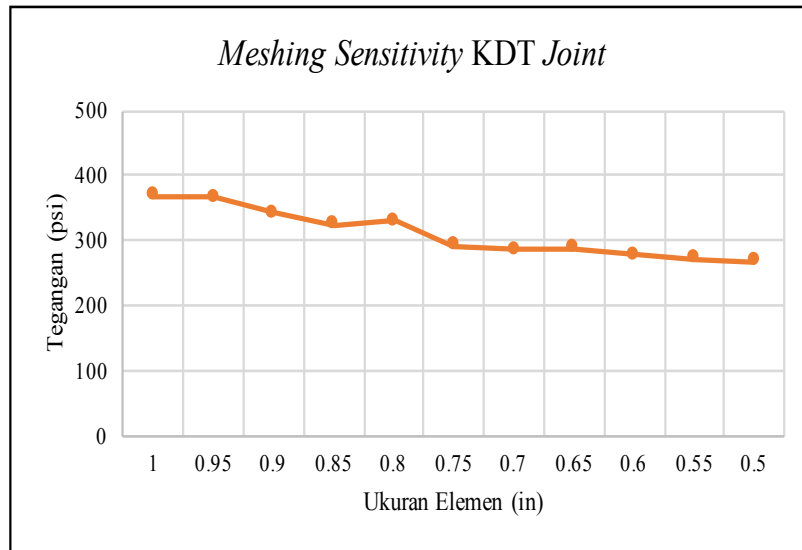
Analisis sensitifitas *meshing* pada sambungan *tubular multiplanar* KDT ini dilakukan dengan memvariasikan ukuran *mesh* yang dibuat semakin kecil pada daerah sambungan antara *brace* dan *chord*. Ukuran *mesh* yang dibuat semakin kecil pada daerah sekitar sambungan antara *brace* dan *chord* bertujuan untuk mendapatkan hasil yang konservatif. Ukuran *mesh* divariasikan sampai didapatkan ukuran *mesh* yang tepat untuk menentukan tegangan yang dicari. Ukuran *mesh* yang tepat ini dapat dilihat dari tegangan yang dihasilkan semakin konstan. Lokasi titik tinjau tegangan dalam melakukan analisis sensitifitas *meshing* dapat dilihat pada Gambar 4.17



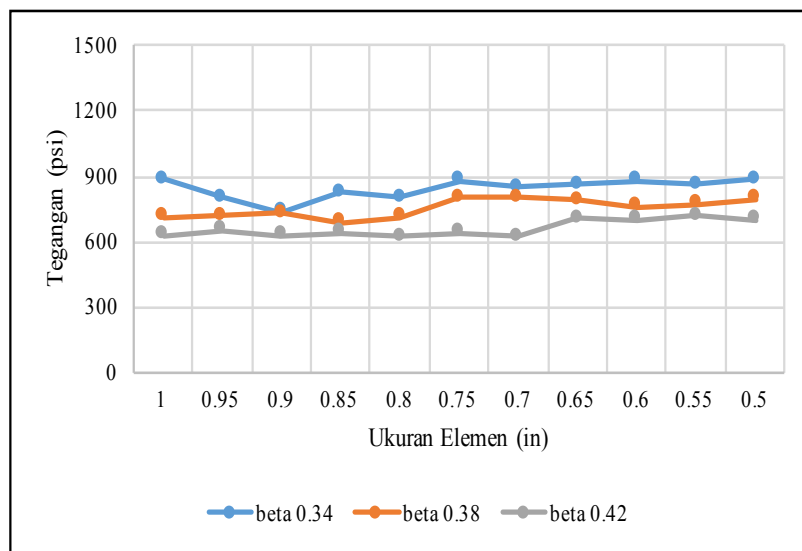
**Gambar 4.17** Letak titik tinjau analisis *meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT

Dalam analisis ini ukuran *mesh* divariasikan mulai dari 1 *inch* sampai dengan 0.5 *inch*. Jenis *mesh* yang digunakan pada analisis sensitifitas *meshing* pada sambungan *tubular multiplanar* KDT ini sama seperti jenis *mesh* pada analisis sensitifitas *meshing* sambungan *tubular uniplanar* KT.

Grafik dibawah ini menjelaskan hasil analisis *meshing sensitivity* pada sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan sudut sesuai model *global*. Dari Grafik tersebut dapat dilihat bahwa tegangan menunjukkan hasil yang konstan pada ukuran *mesh* dibawah 0.75 in.

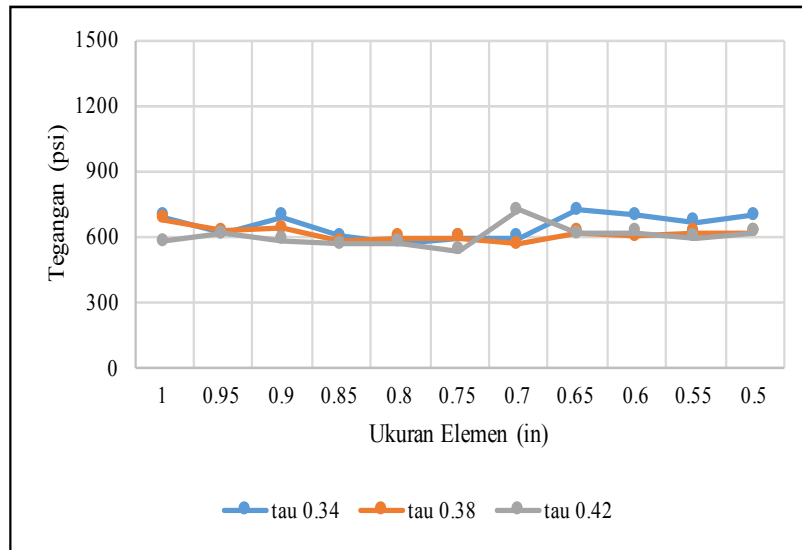


**Gambar 4.18** Grafik *meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT sesuai model *global*



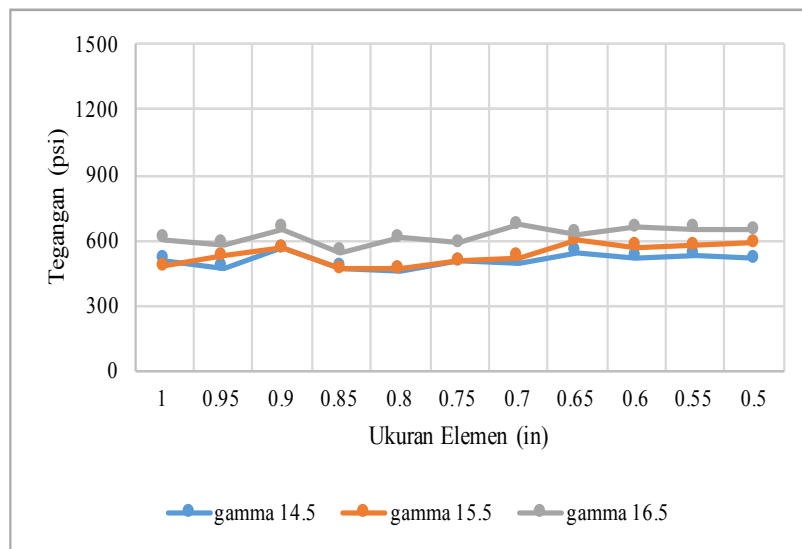
**Gambar 4.19** Grafik *meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter *beta*

Grafik diatas menjelaskan hasil analisis *meshing sensitivity* pada sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter *beta*. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa tegangan menunjukkan hasil yang konstan pada ukuran *mesh* dibawah 0.75 in pada model dengan variasi parameter *beta* 0.34 dan 0.38. Untuk model dengan variasi parameter *beta* 0.42 tegangan menunjukkan hasil yang konstan pada ukuran *mesh* dibawah 0.65 in.



**Gambar 4.20** Grafik *meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter *tau*

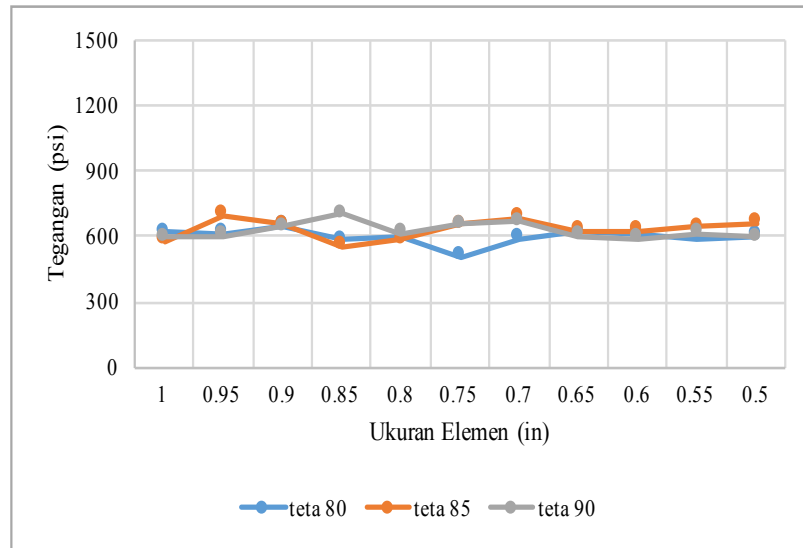
Grafik diatas menjelaskan hasil analisis *meshing sensitivity* pada sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter *tau*. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa tegangan menunjukkan hasil yang konstan pada ukuran *mesh* dibawah 0.65 in.



**Gambar 4.21** Grafik *meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter *gamma*

Grafik diatas menjelaskan hasil analisis *meshing sensitivity* pada sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter *gamma*. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa tegangan menunjukkan hasil yang konstan pada ukuran

*mesh* dibawah 0.65 in.



**Gambar 4.22** Grafik *meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter *teta*

Grafik diatas menjelaskan hasil analisis *meshing sensitivity* pada sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter *teta*. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa tegangan menunjukkan hasil yang konstan pada ukuran *mesh* dibawah 0.7 in pada model dengan variasi parameter *teta* 80 derajat. Untuk model dengan variasi parameter *teta* 85 dan 90 derajat tegangan menunjukkan hasil yang konstan pada ukuran *mesh* dibawah 0.65 in.

Jenis dan ukuran elemen yang telah didapatkan setelah melakukan analisis sensitifitas *meshing* akan digunakan pada model lain dengan variasi parameter *non-dimensional* lainnya yang akan dianalisis. Ukuran *mesh* yang digunakan untuk analisis model lainnya adalah ukuran *mesh* terkecil hasil dari analisis *meshing sensitivity* diatas yaitu 0.65 in.

#### 4.8 Validasi Tegangan *Nominal* Sambungan *Tubular Multiplanar* KDT

Tegangan *nominal* pada analisis lokal ini merupakan tegangan *von mises*. Tegangan *von mises* merupakan tegangan gabungan (*equivalent*) antara *shear stress* dan *axial stress* terhadap semua arah bidang elemen. Tegangan ini ditinjau pada daerah sekitar tengah *brace* dan akan divalidasikan dengan menggunakan persamaan 4.1. Daerah tengah *brace* dipilih sebagai daerah tinjauan karena jauh dari diskontinuitas struktur yaitu daerah sambungan antara *brace* dan *chord*. Pada



tugas akhir ini validasi tegangan *nominal* hanya dilakukan pada *brace* dimana tegangan maksimum terjadi. Tegangan *nominal* pada analisis lokal ini meninjau 96 titik tegangan menggunakan *probe stress* yang terdapat pada *software* elemen hingga (lihat Tabel 4.8).

**Tabel 4.8** Validasi tegangan *nominal* pada model sambungan *tubular multiplanar*  
KDT sesuai model *global*

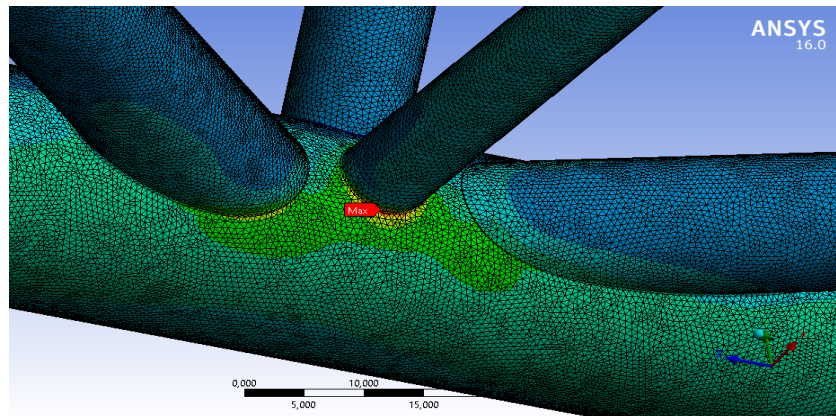
| Tegangan pada <i>Horizontal Brace</i> 1 |                |         |         |         |
|---|----------------|---------|---------|---------|
| Asumsi Gaya (lbf)                       | 2000           |         |         |         |
| No                                      | Tegangan (psi) |         |         |         |
| 1                                       | 168.060        | 166.792 | 168.502 | 168.380 |
| 2                                       | 167.776        | 167.928 | 167.936 | 167.728 |
| 3                                       | 167.968        | 168.066 | 167.696 | 167.918 |
| 4                                       | 167.866        | 167.926 | 167.818 | 168.046 |
| 5                                       | 167.938        | 167.992 | 167.954 | 168.020 |
| 6                                       | 167.998        | 168.024 | 167.924 | 168.072 |
| 7                                       | 168.242        | 168.184 | 168.222 | 168.240 |
| 8                                       | 168.082        | 168.110 | 168.158 | 168.196 |
| 9                                       | 167.880        | 168.048 | 168.358 | 168.288 |
| 10                                      | 168.054        | 168.148 | 168.288 | 168.372 |
| 11                                      | 168.086        | 168.150 | 168.324 | 168.274 |
| 12                                      | 168.088        | 167.320 | 168.254 | 168.016 |
| 13                                      | 168.134        | 167.990 | 168.262 | 168.022 |
| 14                                      | 168.096        | 168.134 | 167.734 | 167.572 |
| 15                                      | 168.106        | 168.284 | 168.004 | 167.984 |
| 16                                      | 168.164        | 168.238 | 167.800 | 168.146 |
| 17                                      | 168.298        | 167.870 | 167.972 | 167.932 |
| 18                                      | 167.794        | 167.972 | 168.266 | 167.922 |
| 19                                      | 167.940        | 167.924 | 168.000 | 168.020 |
| 20                                      | 167.766        | 167.882 | 167.980 | 167.980 |
| 21                                      | 167.738        | 167.904 | 168.116 | 168.090 |
| 22                                      | 168.138        | 167.790 | 168.138 | 168.314 |
| 23                                      | 167.910        | 168.144 | 168.274 | 168.288 |
| 24                                      | 168.374        | 168.048 | 168.302 | 168.294 |
| Jumlah                                  | 16131.76       |         |         |         |
| Tegangan Rata-Rata (psi)                | 168.0391667    |         |         |         |
| Tegangan (F/A)(lbf/in <sup>2</sup> )    | 168.4808891    |         |         |         |
| Error (%)                               | 0.262868735    |         |         |         |

Dari Tabel 4.8 didapatkan bahwa tegangan yang didapatkan dari metode elemen hingga dan persamaan 4.1 memiliki presentase *error* yang kecil sehingga tegangan *nominal* untuk model lain yang akan di variasikan parameter *non-dimensionalnya* dapat ditentukan menggunakan persamaan 4.1.

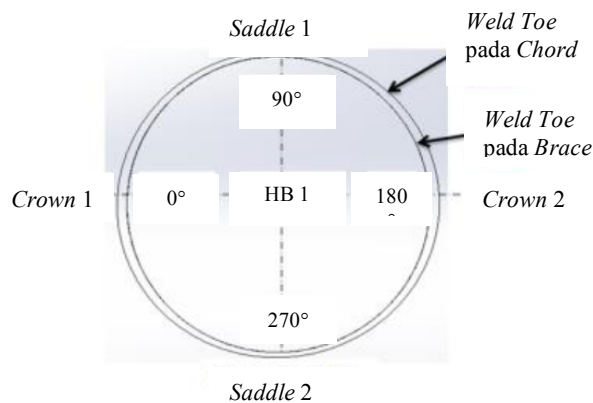
#### 4.9 Distribusi Tegangan di Sekitar Sambungan *Brace* dan *Chord*

Peninjauan distribusi tegangan di sekitar garis sambungan *brace* dan *chord* dilakukan pada model yang telah di variasikan parameter *beta*, *tau*, *gamma*, dan *tetanya* untuk mengetahui pengaruh dari variasi parameter tersebut terhadap distribusi tegangannya. Peninjauan distribusi tegangan dilakukan pada garis sambungan sisi *chord* dan hanya dilakukan pada sambungan antara *brace* dan *chord* yang mengalami tegangan terbesar.

Pada tugas akhir ini sambungan antara *brace* dan *chord* yang mengalami tegangan terbesar akibat gaya aksial terjadi pada sambungan antara *horizontal brace* 1 dengan *chord* (lihat Gambar 4.23). Analisis distribusi tegangan ini dilakukan dengan mengasumsikan *crown* 1 sebagai sudut 0 derajat, *saddle* 1 sebagai sudut 90 derajat, *crown* 2 sebagai sudut 180 derajat dan *saddle* 2 sebagai sudut 270 derajat (lihat Gambar 4.24).



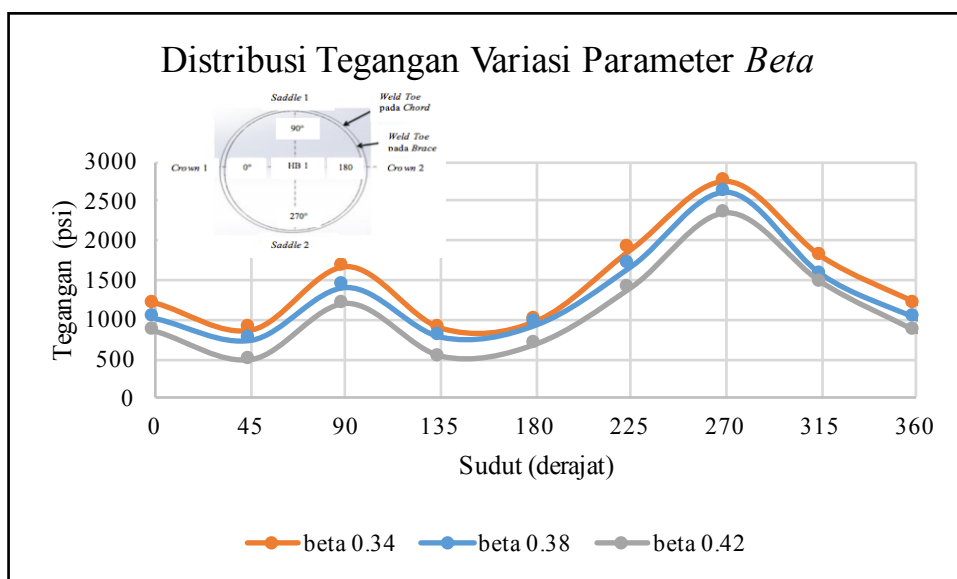
**Gambar 4.23** Lokasi tegangan maksimum pada sambungan *tubular* KDT



**Gambar 4.24** Garis sambungan *horizontal brace* 1 yang akan ditinjau dengan pendekatan sudut

#### 4.9.1 Pengaruh Variasi Parameter *Beta* Terhadap Distribusi Tegangan

Parameter *beta* merupakan perbandingan antara *diameter brace* dengan *diameter chord* dari sambungan *tubular*, sehingga semakin besar nilai *beta* maka *diameter brace* akan semakin besar dan sebaliknya *diameter chord* akan semakin kecil. Untuk mengetahui pengaruh variasi parameter *beta* terhadap distribusi tegangan pada tugas akhir ini, sambungan *tubular multiplanar* KDT divariasikan menjadi tiga model dengan nilai *beta* 0.34, 0.38, 0.42 dengan nilai *tau*, *gamma*, dan *teta* untuk ketiga model tersebut sesuai dengan model *global*. Hasil peninjauan distribusi tegangan pada sekitar garis sambungan antara *brace* dan *chord* dengan variasi parameter *beta* dapat dilihat pada Gambar 4.25.

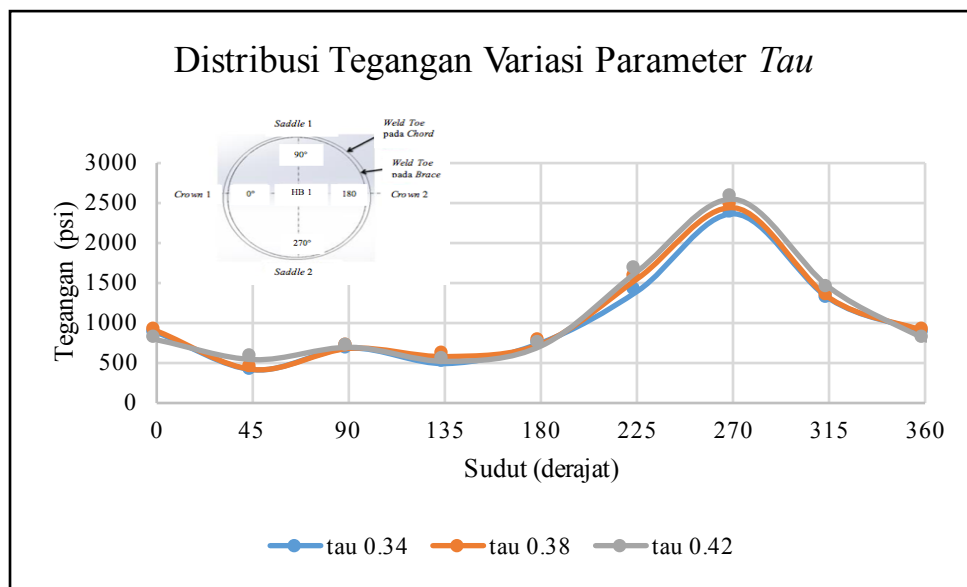


**Gambar 4.25** Grafik distribusi tegangan dengan variasi parameter *beta*

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa hasil peninjauan distribusi tegangan di sekitar garis sambungan antara *brace* dan *chord* dengan variasi parameter *beta* menunjukkan bahwa semakin besar parameter *beta* maka tegangan di sekitar garis sambungan antara *brace* dan *chord* akan semakin kecil. Tegangan maksimum pada ketiga model tersebut terjadi pada titik yang sama yaitu disekitar titik sudut 270 derajat (*saddle 2*).

#### 4.9.2 Pengaruh Variasi Parameter *Tau* Terhadap Distribusi Tegangan

Parameter *tau* merupakan perbandingan antara ketebalan *brace* dengan ketebalan *chord* dari sambungan *tubular*, sehingga semakin besar nilai *tau* maka ketebalan *brace* akan semakin besar dan sebaliknya ketebalan *chord* akan semakin kecil. Untuk mengetahui pengaruh variasi parameter *tau* terhadap distribusi tegangan pada tugas akhir ini, sambungan *tubular multiplanar* KDT divariasikan menjadi tiga model dengan nilai *tau* 0.34, 0.38, 0.42 dengan nilai *beta*, *gamma*, dan *teta* untuk ketiga model tersebut sesuai dengan model *global*. Hasil peninjauan distribusi tegangan pada sekitar garis sambungan antara *brace* dan *chord* dengan variasi parameter *tau* dapat dilihat pada Gambar 4.26.



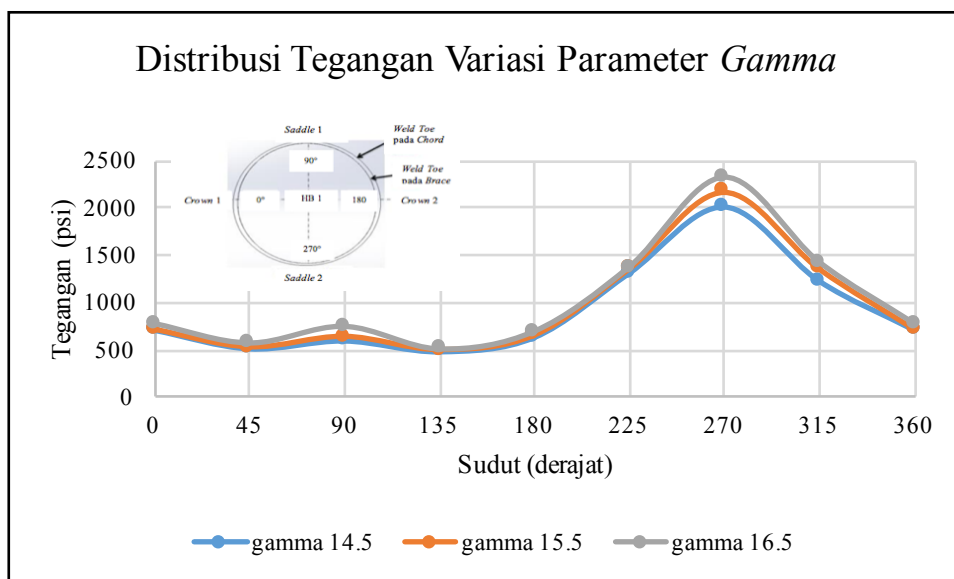
**Gambar 4.26** Grafik distribusi tegangan dengan variasi parameter *tau*

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa hasil peninjauan distribusi tegangan di sekitar garis sambungan antara *brace* dan *chord* dengan variasi parameter *tau* menunjukkan bahwa semakin besar parameter *tau* maka tegangan di

sekitar garis sambungan antara *brace* dan *chord* akan semakin besar. Tegangan maksimum pada ketiga model tersebut terjadi pada titik yang sama yaitu disekitar titik sudut 270 derajat (*saddle 2*).

#### 4.9.3 Pengaruh Variasi Parameter *Gamma* Terhadap Distribusi Tegangan

Parameter *gamma* merupakan perbandingan antara *diameter chord* dengan dua kali ketebalan *chord* dari sambungan *tubular*, sehingga semakin besar nilai *gamma* maka *diameter chord* akan semakin besar dan sebaliknya ketebalan *chord* akan semakin kecil. Untuk mengetahui pengaruh variasi parameter *gamma* terhadap distribusi tegangan pada tugas akhir ini, sambungan *tubular multiplanar* KDT divariasikan menjadi tiga model dengan nilai *gamma* 14.5, 15.5, 16.5 dengan nilai *beta*, *tau*, dan *teta* untuk ketiga model tersebut sesuai dengan model *global*. Hasil peninjauan distribusi tegangan pada sekitar garis sambungan antara *brace* dan *chord* dengan variasi parameter *gamma* dapat dilihat pada Gambar 4.27.

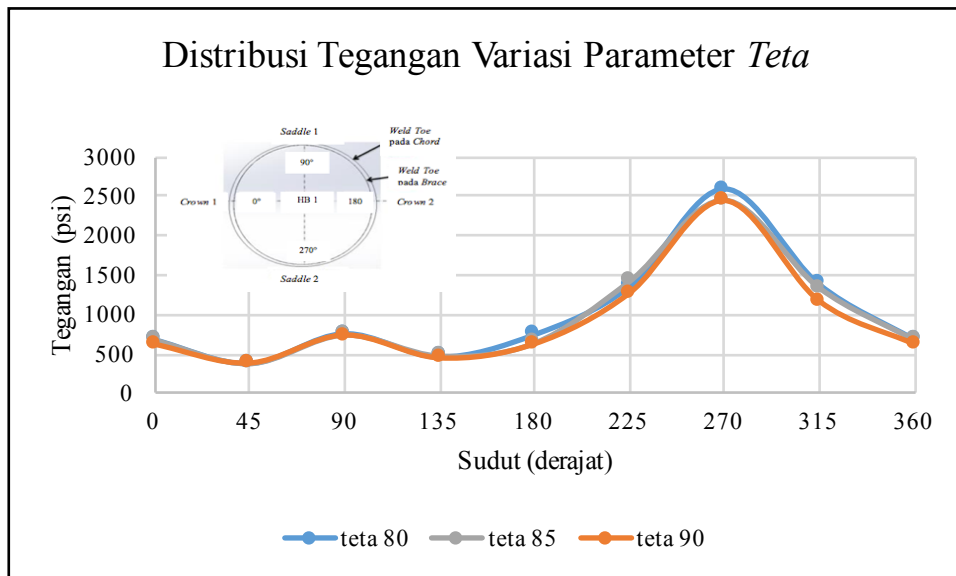


**Gambar 4.27** Grafik distribusi tegangan dengan variasi parameter *gamma*

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa hasil peninjauan distribusi tegangan di sekitar garis sambungan antara *brace* dan *chord* dengan variasi parameter *gamma* menunjukkan bahwa semakin besar parameter *gamma* maka tegangan di sekitar garis sambungan antara *brace* dan *chord* akan semakin besar. Tegangan maksimum pada ketiga model tersebut terjadi pada titik yang sama yaitu disekitar titik sudut 270 derajat (*saddle 2*).

#### 4.9.4 Pengaruh Variasi Parameter $teta$ Terhadap Distribusi Tegangan

Parameter  $teta$  merupakan sudut antara *horizontal brace* 1 dengan *chord* dari sambungan *tubular*, sehingga semakin besar nilai  $teta$  maka *horizontal brace* 1 akan semakin membentuk sudut 90 derajat. Untuk mengetahui pengaruh variasi parameter  $teta$  terhadap distribusi tegangan pada tugas akhir ini, sambungan *tubular multiplanar* KDT divariasikan menjadi tiga model dengan nilai  $teta$  80 derajat, 85 derajat, 90 derajat dengan nilai  $beta$ ,  $tau$ , dan  $gamma$  untuk ketiga model tersebut sesuai dengan model *global*. Hasil peninjauan distribusi tegangan pada sekitar garis sambungan antara *brace* dan *chord* dengan variasi parameter  $teta$  dapat dilihat pada Gambar 4.28.



**Gambar 4.28** Grafik distribusi tegangan dengan variasi parameter  $teta$

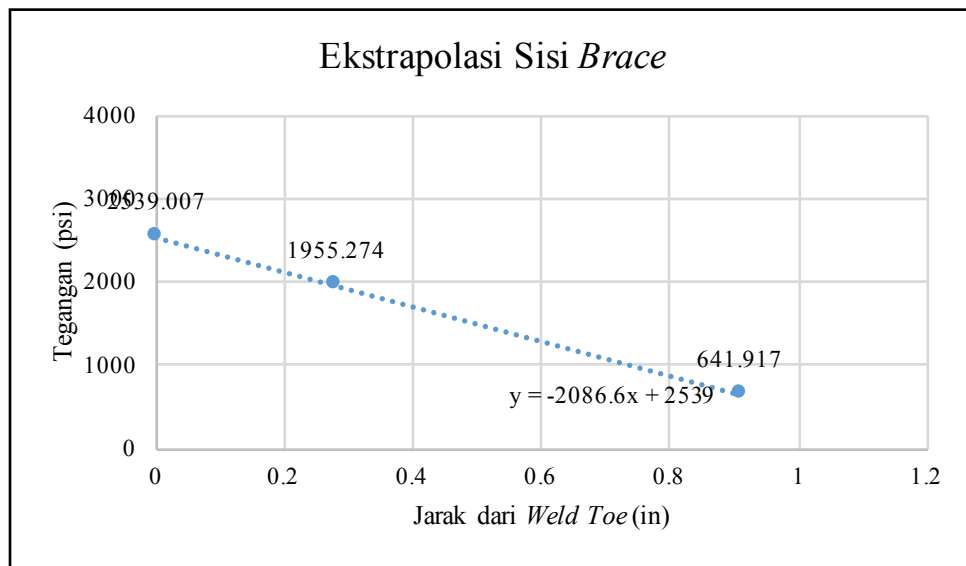
Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa hasil peninjauan distribusi tegangan di sekitar garis sambungan antara *brace* dan *chord* dengan variasi parameter  $teta$  menunjukkan bahwa semakin besar parameter  $teta$  maka tegangan di sekitar garis sambungan antara *brace* dan *chord* akan semakin kecil. Tegangan maksimum pada ketiga model tersebut terjadi pada titik yang sama yaitu disekitar titik sudut 270 derajat (*saddle 2*).

#### 4.10 Tegangan *Hot-Spot* pada Sambungan *Tubular Multiplanar* KDT

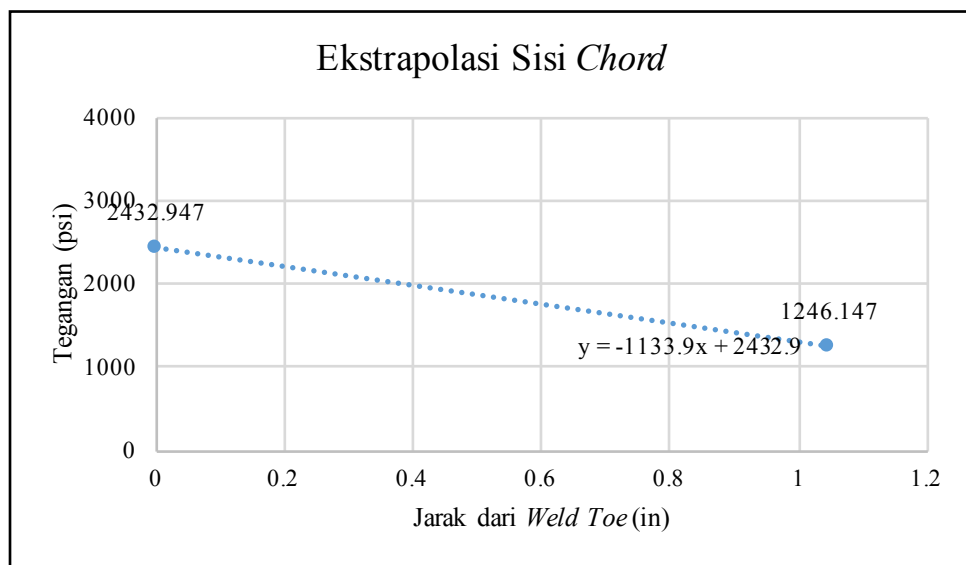
Tegangan *hot-spot* pada analisis lokal menggunakan pendekatan metode elemen hingga yang umumnya terjadi didaerah sambungan antara *brace* dan *chord* merupakan tegangan rata-rata yang dihitung dari semua elemen yang berdekatan. Karena pada daerah sambungan antara *brace* dan *chord* adalah daerah

diskontinuitas struktur maka tegangan rata-rata di daerah tersebut kurang akurat. Oleh karena itu, untuk mendapatkan tegangan *hot-spot* yang umumnya terjadi di daerah sambungan antara *brace* dan *chord* tersebut digunakan metode ekstrapolasi linier dengan jarak titik ekstrapolasi yang mengacu pada DNVGL-RP-C203.

Pada tugas akhir ini, tegangan *hot-spot* yang ditinjau hanya pada *brace* dimana tegangan maksimum terjadi (lihat Gambar 4.23). Berikut hasil ekstrapolasi linier pada *brace* dan *chord*.



**Gambar 4.29** Grafik ekstrapolasi linier sisi *brace* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT sesuai model *global*



**Gambar 4.30** Grafik ekstrapolasi linier sisi *chord* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT sesuai model *global*

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa tegangan *hot-spot* pada *brace* dan *chord* ditunjukkan oleh nilai y pada sumbu x sama dengan 0. Untuk model lain yang divariasikan parameter *non-dimensionalnya* tegangan *hot-spot* didapatkan dengan menggunakan metode yang sama yaitu ekstrapolasi linier yang mengacu pada DNVGL-RP-C203.

#### 4.11 Faktor Konsentrasi Tegangan Sambungan *Tubular Multiplanar KDT*

Faktor konsentrasi tegangan merupakan rasio antara tegangan *hot-spot* dan tegangan *nominal*. Tegangan *hot-spot* pada analisis lokal ini didapatkan dengan menggunakan metode ekstrapolasi linier yang mengacu pada DNVGL-RP-C203 dan tegangan *nominal* didapatkan dengan menggunakan persamaan 4.1. Sehingga faktor konsentrasi tegangan dapat dicari dengan membandingkan tegangan *hot-spot* dan tegangan *nominalnya*. Berikut adalah hasil tegangan *hot-spot*, tegangan *nominal*, dan faktor konsentrasi tegangan pada setiap model.

**Tabel 4.9** Faktor konsentrasi tegangan pada *brace*

| Model | <i>Brace</i>                 |                               |        |
|-------|------------------------------|-------------------------------|--------|
| No.   | <i>Hot-Spot Stress</i> (psi) | Tegangan <i>Nominal</i> (psi) | SCF    |
| 1     | 2947.080                     | 224.454                       | 13.130 |
| 2     | 2765.854                     | 199.845                       | 13.840 |
| 3     | 2555.606                     | 180.099                       | 14.190 |
| 4     | 2539.007                     | 168.481                       | 15.070 |
| 5     | 2151.692                     | 258.928                       | 8.310  |
| 6     | 2113.751                     | 232.280                       | 9.100  |
| 7     | 2357.859                     | 210.711                       | 11.190 |
| 8     | 1536.546                     | 168.481                       | 9.120  |
| 9     | 1910.573                     | 168.481                       | 11.340 |
| 10    | 2191.936                     | 168.481                       | 13.010 |
| 11    | 2583.317                     | 168.481                       | 15.333 |
| 12    | 2529.572                     | 168.481                       | 15.014 |
| 13    | 2498.572                     | 168.481                       | 14.830 |
| 14    | 2785.413                     | 448.537                       | 6.210  |
| 15    | 2674.428                     | 421.834                       | 6.340  |
| 16    | 2746.171                     | 397.420                       | 6.910  |
| 17    | 2650.341                     | 354.941                       | 7.467  |
| 18    | 2740.929                     | 342.188                       | 8.010  |
| 19    | 2936.348                     | 336.351                       | 8.730  |



**Tabel 4.9** Faktor konsentrasi tegangan pada *brace* (lanjutan)

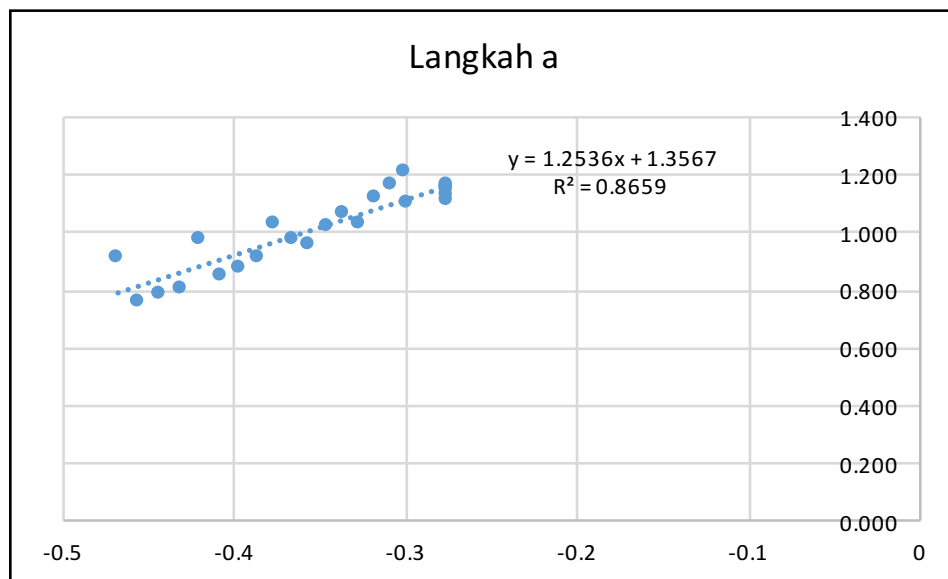
| Model | <i>Brace</i>                 |                               |        |
|-------|------------------------------|-------------------------------|--------|
| No.   | <i>Hot-Spot Stress</i> (psi) | Tegangan <i>Nominal</i> (psi) | SCF    |
| 20    | 3202.409                     | 315.508                       | 10.150 |
| 21    | 3437.730                     | 305.576                       | 11.250 |
| 22    | 3787.171                     | 303.459                       | 12.480 |
| 23    | 4112.380                     | 287.941                       | 14.282 |
| 24    | 4407.800                     | 287.979                       | 15.306 |
| 25    | 4915.772                     | 281.771                       | 17.446 |

**Tabel 4.10** Faktor konsentrasi tegangan pada *chord*

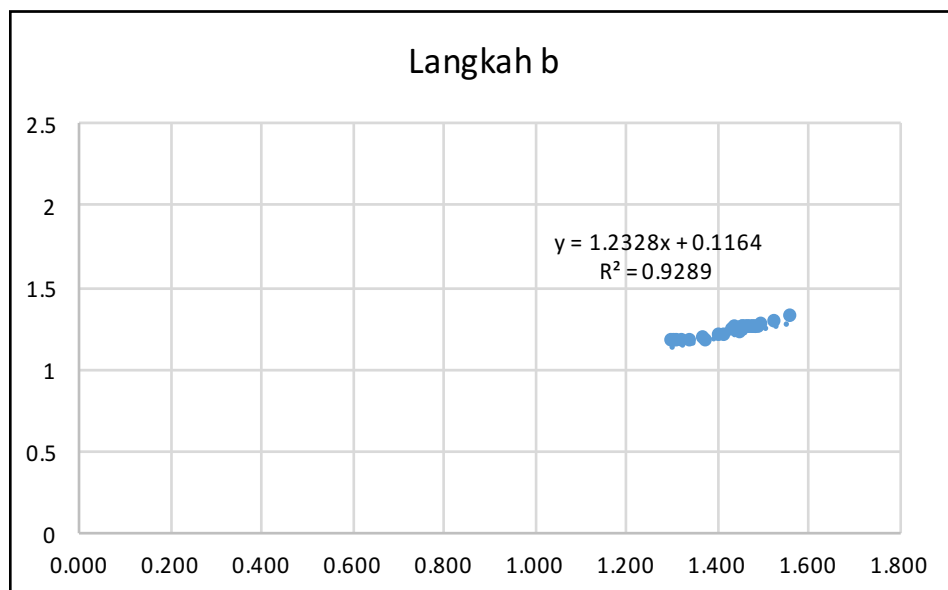
| Model | <i>Chord</i>                 |                               |        |
|-------|------------------------------|-------------------------------|--------|
| No.   | <i>Hot-Spot Stress</i> (psi) | Tegangan <i>Nominal</i> (psi) | SCF    |
| 1     | 2917.271                     | 224.454                       | 12.997 |
| 2     | 2710.162                     | 199.845                       | 13.561 |
| 3     | 2537.566                     | 180.099                       | 14.090 |
| 4     | 2432.947                     | 168.481                       | 14.440 |
| 5     | 2103.421                     | 258.928                       | 8.124  |
| 6     | 2175.236                     | 232.280                       | 9.365  |
| 7     | 2253.226                     | 210.711                       | 10.693 |
| 8     | 1533.564                     | 168.481                       | 9.102  |
| 9     | 1814.525                     | 168.481                       | 10.770 |
| 10    | 2120.837                     | 168.481                       | 12.588 |
| 11    | 2480.556                     | 168.481                       | 14.723 |
| 12    | 2427.742                     | 168.481                       | 14.410 |
| 13    | 2410.477                     | 168.481                       | 14.307 |
| 14    | 2592.279                     | 448.537                       | 5.779  |
| 15    | 2565.013                     | 421.834                       | 6.081  |
| 16    | 2539.360                     | 397.420                       | 6.390  |
| 17    | 2489.715                     | 354.941                       | 7.014  |
| 18    | 2571.240                     | 342.188                       | 7.514  |
| 19    | 2765.432                     | 336.351                       | 8.222  |
| 20    | 2958.389                     | 315.508                       | 9.377  |
| 21    | 3231.233                     | 305.576                       | 10.574 |
| 22    | 3516.653                     | 303.459                       | 11.589 |
| 23    | 3815.245                     | 287.941                       | 13.250 |
| 24    | 4192.485                     | 287.979                       | 14.558 |
| 25    | 4568.117                     | 281.771                       | 16.212 |

#### 4.12 Perumusan Faktor Konsentrasi Tegangan Sambungan *Tubular Multiplanar* KDT

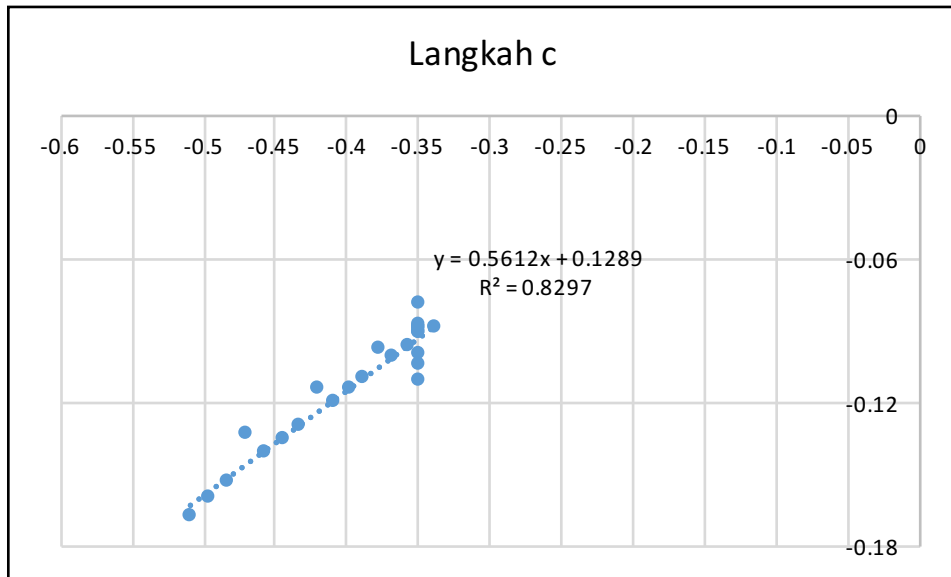
Perumusan faktor konsentrasi tegangan sambungan *tubular multiplanar* KDT pada tugas akhir ini dilakukan dengan cara mencari nilai faktor konsentrasi tegangan pada setiap model yang divariasikan parameter *non-dimensionalnya*. Faktor konsentrasi tegangan yang sudah didapatkan kemudian akan *diregresi* dengan langkah-langkah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah hasil perumusan faktor konsentrasi tegangan pada sisi *brace*.



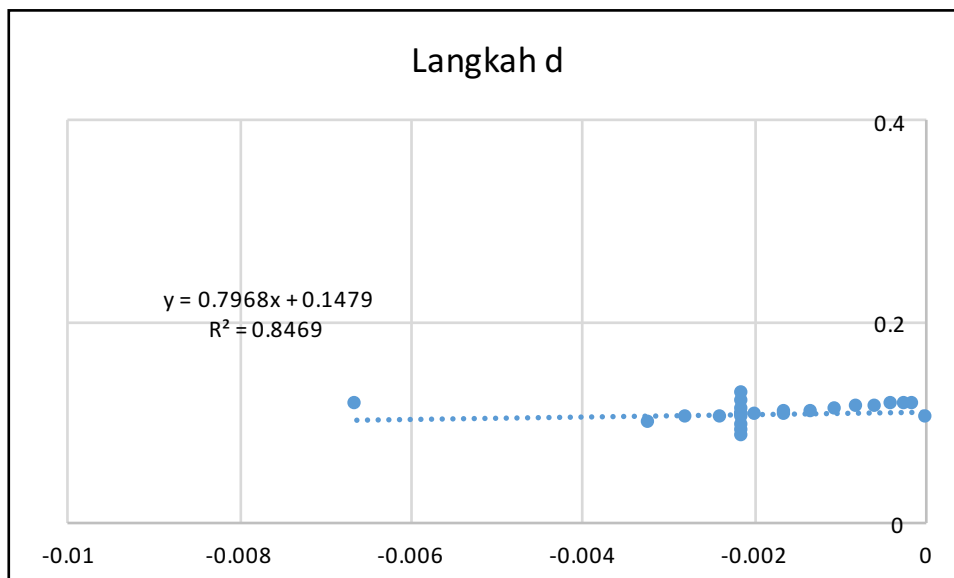
**Gambar 4.31** Plot langkah a perumusan *stress concentration factor*



**Gambar 4.32** Plot langkah b perumusan *stress concentration factor*



**Gambar 4.33** Plot langkah c perumusan *stress concentration factor*



**Gambar 4.34** Plot langkah d perumusan *stress concentration factor*

Dari grafik diatas didapatkan bahwa :

1. Dari plot langkah a didapatkan kemiringan  $m1 = 1.2536$
2. Dari plot langkah b didapatkan kemiringan  $m2 = 1.2328$
3. Dari plot langkah c didapatkan kemiringan  $m3 = 0.4347$
4. Dari plot langkah d didapatkan kemiringan  $m4 = 0.7968$
5. Nilai c didapatkan dari *interception* langkah a = 1.3567

Sehingga persamaan faktor konsentrasi tegangan pada sambungan *tubular multiplanar* KDT pada sisi *brace* adalah:

$$SCF = (1.3567(\tau)^{1.2536} \cdot (\gamma)^{1.2328} \cdot (\beta)^{0.4347} (\sin \theta)^{0.7968}) \dots\dots\dots (4.3)$$

Perumusan faktor konsentrasi tegangan pada sisi *chord* menggunakan metode dan langkah-langkah yang sama dengan perumusan faktor konsentrasi tegangan pada sisi *brace*. Untuk detail perumusan faktor konsentrasi tegangan pada sisi *chord* dapat dilihat pada bagian lampiran tugas akhir. Persamaan faktor konsentrasi tegangan pada sambungan *tubular multiplanar* KDT pada sisi *chord* adalah :

$$SCF = (1.2819(\tau)^{1.1826} \cdot (\gamma)^{1.2873} \cdot (\beta)^{0.5612} (\sin \theta)^{0.8663}) \dots\dots\dots (4.4)$$

Persamaan faktor konsentrasi tegangan 4.3 dan 4.4 yang didapatkan hanya dapat digunakan pada *horizontal brace* 1 dengan *range* parameter *non-dimensional* yang telah ditentukan.

#### 4.13 Perbandingan Faktor Konsentrasi Tegangan Persamaan Baru dengan Faktor Konsentrasi Tegangan Hasil Analisis Metode Elemen Hingga

Faktor konsentrasi tegangan yang didapatkan dari persamaan baru akan dibandingkan dengan faktor konsentrasi tegangan dari hasil analisis metode elemen hingga untuk dilakukan pengecekan tingkat kesalahannya. Pengecekan tingkat kesalahan dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Presenrase error} = \frac{(SCF_{formula} - SCF_{FEM})}{SCF_{FEM}} \times 100\% \dots\dots\dots (4.5)$$

Hasil perbandingan faktor konsentrasi tegangan dari persamaan baru dengan faktor konsentrasi tegangan dari hasil analisis metode elemen hingga pada sisi *brace* dan *chord* dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan 4.12.

**Tabel 4.11** Perbandingan SCF *formula* dengan SCF FEM pada sisi *brace*

| <i>Stress Concentration Factor</i> |         |                    |                  |
|------------------------------------|---------|--------------------|------------------|
| <i>Brace</i>                       |         |                    |                  |
| Model                              | SCF FEM | SCF <i>Formula</i> | <i>Error (%)</i> |
| 1                                  | 13.130  | 12.916             | 1.629            |
| 2                                  | 13.840  | 13.556             | 2.052            |
| 3                                  | 14.190  | 14.159             | 0.220            |
| 4                                  | 15.070  | 14.560             | 3.381            |
| 5                                  | 8.310   | 8.368              | 0.699            |

**Tabel 4.11** Perbandingan SCF *formula* dengan SCF FEM pada sisi *brace*  
(lanjutan)

| <i>Stress Concentration Factor</i> |         |                    |                  |
|------------------------------------|---------|--------------------|------------------|
| <i>Brace</i>                       |         |                    |                  |
| Model                              | SCF FEM | SCF <i>Formula</i> | <i>Error (%)</i> |
| 6                                  | 9.100   | 9.596              | 5.448            |
| 7                                  | 11.190  | 10.903             | 2.562            |
| 8                                  | 9.120   | 9.184              | 0.702            |
| 9                                  | 11.340  | 10.864             | 4.198            |
| 10                                 | 13.010  | 12.695             | 2.420            |
| 11                                 | 15.333  | 14.441             | 5.818            |
| 12                                 | 15.014  | 14.574             | 2.932            |
| 13                                 | 14.830  | 14.618             | 1.429            |
| 14                                 | 6.210   | 5.853              | 5.756            |
| 15                                 | 6.340   | 6.155              | 2.911            |
| 16                                 | 6.910   | 6.465              | 6.446            |
| 17                                 | 7.467   | 7.093              | 5.007            |
| 18                                 | 8.010   | 7.597              | 5.153            |
| 19                                 | 8.730   | 8.317              | 4.734            |
| 20                                 | 10.150  | 9.490              | 6.502            |
| 21                                 | 11.250  | 10.692             | 4.957            |
| 22                                 | 12.480  | 11.719             | 6.100            |
| 23                                 | 14.282  | 13.403             | 6.154            |
| 24                                 | 15.306  | 14.724             | 3.805            |
| 25                                 | 17.446  | 16.412             | 5.927            |
| <i>Error rata-rata %</i>           |         |                    | 3.878            |

**Tabel 4.12** Perbandingan SCF *formula* dengan SCF FEM pada sisi *chord*

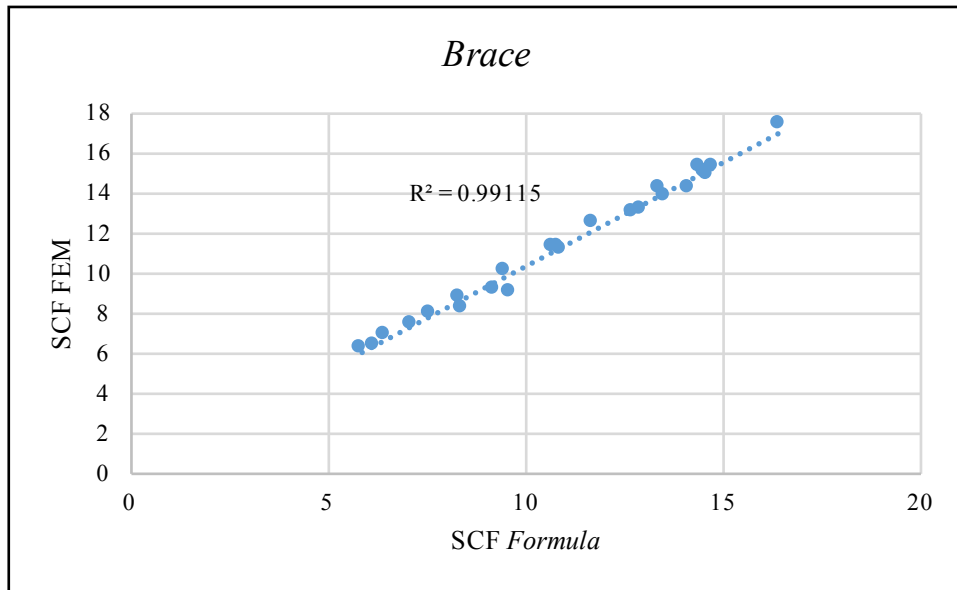
| <i>Stress Concentration Factor</i> |         |                    |                  |
|------------------------------------|---------|--------------------|------------------|
| <i>Chord</i>                       |         |                    |                  |
| Model                              | SCF FEM | SCF <i>Formula</i> | <i>Error (%)</i> |
| 1                                  | 12.997  | 13.001             | 0.027            |
| 2                                  | 13.561  | 13.838             | 2.038            |
| 3                                  | 14.090  | 14.637             | 3.883            |
| 4                                  | 14.440  | 15.175             | 5.086            |
| 5                                  | 8.124   | 9.002              | 10.808           |
| 6                                  | 9.365   | 10.242             | 9.366            |
| 7                                  | 10.693  | 11.553             | 8.037            |
| 8                                  | 9.102   | 9.603              | 5.496            |

**Tabel 4.12** Perbandingan SCF *formula* dengan SCF FEM pada sisi *chord*  
(lanjutan)

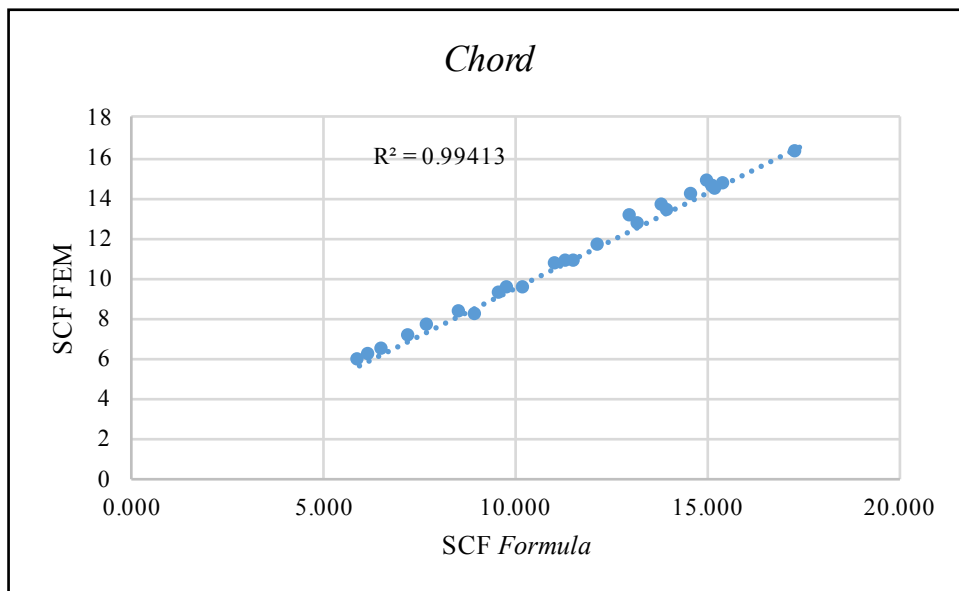
| <i>Stress Concentration Factor</i> |         |                    |                  |
|------------------------------------|---------|--------------------|------------------|
| <i>Chord</i>                       |         |                    |                  |
| Model                              | SCF FEM | SCF <i>Formula</i> | <i>Error (%)</i> |
| 9                                  | 10.770  | 11.346             | 5.347            |
| 10                                 | 12.588  | 13.244             | 5.208            |
| 11                                 | 14.723  | 15.039             | 2.149            |
| 12                                 | 14.410  | 15.190             | 5.416            |
| 13                                 | 14.307  | 15.240             | 6.522            |
| 14                                 | 5.779   | 5.937              | 2.727            |
| 15                                 | 6.081   | 6.257              | 2.902            |
| 16                                 | 6.390   | 6.584              | 3.046            |
| 17                                 | 7.014   | 7.251              | 3.376            |
| 18                                 | 7.514   | 7.788              | 3.651            |
| 19                                 | 8.222   | 8.558              | 4.091            |
| 20                                 | 9.377   | 9.818              | 4.711            |
| 21                                 | 10.574  | 11.086             | 4.843            |
| 22                                 | 11.589  | 12.198             | 5.255            |
| 23                                 | 13.250  | 14.029             | 5.879            |
| 24                                 | 14.558  | 15.472             | 6.277            |
| 25                                 | 16.212  | 17.366             | 7.120            |
| <i>Error rata-rata %</i>           |         |                    | 4.930            |

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa hasil presentase *error* maksimum SCF dari hasil *formula* baru dengan SCF dari hasil metode elemen hingga masih dibawah 10 % dengan presentase *error* rata-rata maksimum dibawah 5 %.

Selain menggunakan presentase error, pengecekan SCF hasil dari *formula* baru dengan SCF hasil dari metode elemen hingga dilakukan dengan melakukan plot SCF hasil *formula* baru dengan SCF hasil dari metode elemen hingga untuk mengetahui korelasi antara kedua SCF tersebut. Plot grafik antara SCF hasil dari *formula* baru dan SCF dari hasil analisis metode elemen hingga dapat dilihat pada Gambar 4.35 dan 4.36



**Gambar 4.35** Grafik korelasi SCF FEM dan SCF *formula* sisi *brace*



**Gambar 4.36** Grafik korelasi SCF FEM dan SCF *formula* sisi *chord*

Grafik korelasi SCF hasil dari metode elemen hingga dan SCF hasil *formulasi* baru pada sisi *brace* dan *chord* menunjukkan bahwa koefisien korelasi menunjukkan angka mendekati satu, sehingga korelasi antara SCF hasil dari metode elemen hingga dan SCF hasil *formulasi* baru dapat dikatakan baik.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Distribusi tegangan pada garis sambungan antara *brace* dan *chord* dipengaruhi oleh parameter  $\beta$ ,  $\tau$ ,  $\gamma$  dan  $\theta$ . Hasil dari analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa tegangan terbesar terjadi pada  $\beta = 0.34$  ;  $\tau = 0.42$  ;  $\gamma = 16.5$  ;  $\theta = 80^\circ$ . Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar parameter  $\beta$  dan  $\theta$  maka tegangan disekitar sambungan akan semakin kecil, sebaliknya semakin besar parameter  $\tau$  dan  $\gamma$  maka tegangan disekitar sambungan akan semakin besar.
2. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa semakin besar parameter  $\beta$  maka nilai SCF akan semakin besar meskipun tegangan semakin kecil. Hal ini terjadi karena semakin besar parameter  $\beta$  maka tegangan *nominal* di tengah *brace* akan semakin kecil, sehingga penurunan nilai tegangan di sekitar sambungan tidak membuat nilai SCF semakin menurun. Sedangkan hasil analisis untuk parameter  $\tau$  dan  $\gamma$  menunjukkan bahwa semakin besar nilai  $\tau$  dan  $\gamma$  maka nilai SCF yang dihasilkan juga akan semakin besar, dan untuk parameter  $\theta$  hasil dari analisis ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai  $\theta$  maka nilai SCF yang dihasilkan akan semakin kecil.
3. Presentase *error* rata-rata dari nilai SCF yang didapatkan dari persamaan baru dan SCF dari hasil analisis metode elemen hingga cukup kecil, sehingga persamaan SCF baru yang didapatkan dapat dikatakan valid.

## 5.2 Saran

Penulis menyarankan beberapa hal yang bisa dilakukan untuk penelitian Tugas Akhir selanjutnya antara lain :

1. Melakukan perumusan SCF dengan bentuk geometri yang lainnya.
2. Memvariasikan tumpuan pada kedua ujung *chord* dan pembebanan pada *bracanya*.
3. Menganalisa SCF pada sambungan *tubular multiplanar* dengan metode eksperimen.
4. Peninjauan distribusi tegangan akibat perubahan *uniplanar joint* KT ke *multiplanar joint* KDT pada semua lokasi *brace*.
5. Melakukan perumusan faktor konsentrasi tegangan pada semua lokasi *brace*.
6. Dapat dilanjutkan untuk menghitung keretakan, *stress intensity factor* (SIF), dan penambahan variasi *crack* pada studi parameter *multiplanar tubular joint* K double T ini.
7. Dapat dilanjutkan untuk menghitung *fatigue life* pada *multiplanar tubular joint* K double T.

## DAFTAR PUSTAKA

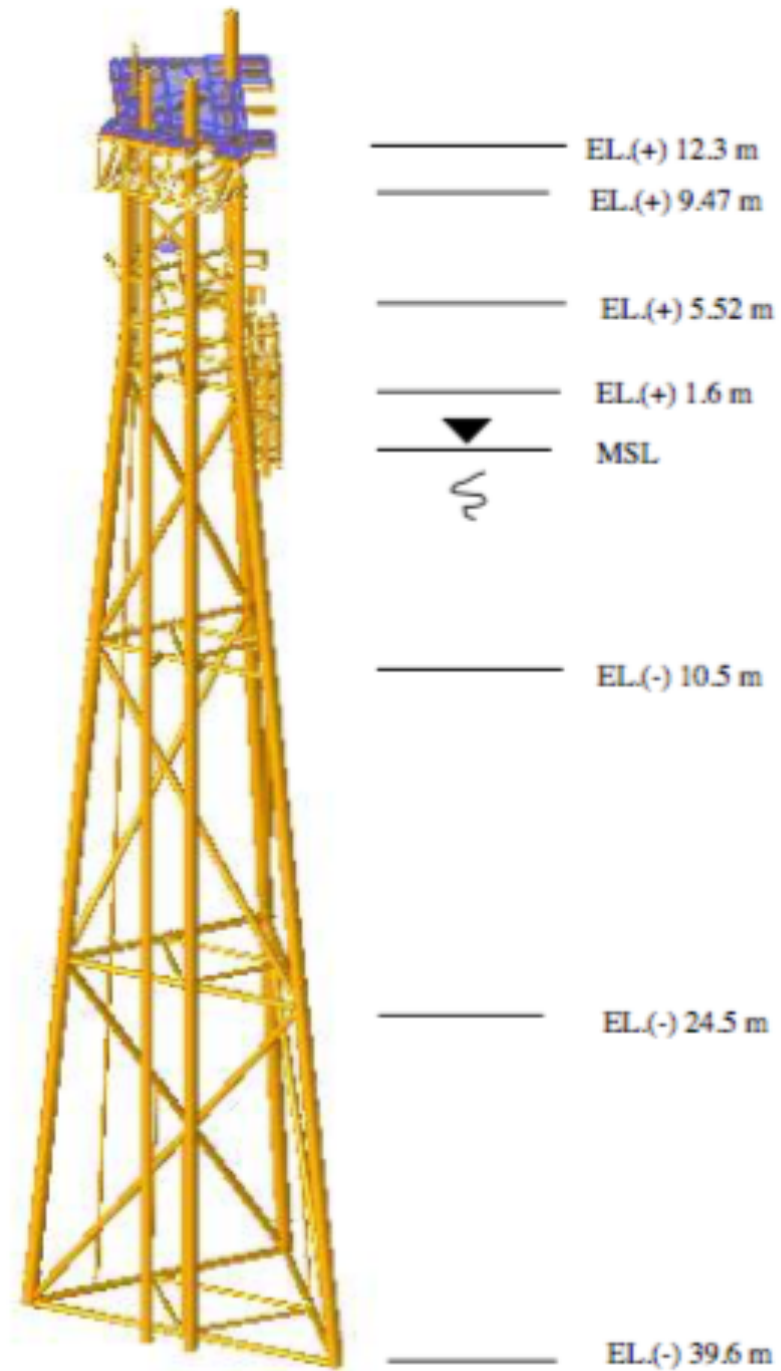
- Ahmadi, Hamid, Mohammad Ali Lotfollahi-Yaghin, Mohammad H. Aminfar. 2011. *Geometrical effect on SCF distribution in uni-planar tubular DKT-joints under axial loads*. Journal of Construction Steel Research 67, 1282-1291.
- Ahmadi, Hamid, Esmail Zavvar. 2015. *Stress concentration factors induced by out-of-plane bending loads in ring-stiffened tubular KT-joints of jacket structures*. Thin Walled Structures 91, 82-95.
- Ahmadi, Hamid, Esmail Zavvar. 2016. *The effect of multi-planarity on the SCFs in offshore tubular KT-joints subjected to in-plane and out-of-plane bending load*. Thin Walled Structures 106, 148-165.
- AWS D.1.1 Committee on Structural Welding, *AWS D1.1 Structural Welding*, Miami : American Welding Society, 2001
- Chang, E., W.D. Dover. 1999. *Prediction of stress distributios along the intersection of tubular Y and T-joints*. International Journal of Fatigue 21, 361-381.
- Dijkstra, O.D., et al. 1988. *Stress concentration factors in T and KT tubular joints using finite element analysis*. Journal of Energy Resources Technology, Vol 110.
- DNVGL RP-C203. 2001. Recommended Practice, *Fatigue Strength Analysis of Offshore Steel Structure*.
- Karamanos, Spyros A., Arie Romeijn, Jaap Wardenier. 2001. *SCF equations in multi-planar welded tubular DT-joints including bending effects*. Marine Structures, Vol 15, 157-173.
- Lotfollahi-Yaghin, Mohammad A., Hamid Ahmadi. 2011. *Geometric stress distribution along the weld toe of the outer brace in two-planar tubular DKT-joints: Parametric study and deriving the SCF design equation*. Marine Structures, Vol.24, 239-260.
- Pang, H.L.J., C.W. Lee. 1995. *Three-dimentional Finite Element Analysis of a Tubular T-joint under Combined Axial and Bending Loading*. International jurnal of fatigue, vol. 17, no 5, pp313-320.

- Saini, Dikshant Singh, Debasis Karmakar, Samit Ray-Chauduri. 2016. *A review of stress concentration factor in tubular and non-tubular joints for design of offshore installations*. Journal of Ocean Engineering and Science 1, 186-202.
- Soh, Ai-Kah, Chee-Kiong Soh. 1991. *SCF equations for DT/X tubular joints*. J.Construct. Steel Research 19, 81-95.
- Wonghiren, C.O., F.P. Brennan. 2009. *Weld toe stress concentrations in multiplanar stiffened tubular KK joints*. International Journal of Fatigue Vol.31, 164-172.

**LAMPIRAN A**  
**DATA DAN MODEL SAMBUNGAN**  
***TUBULAR MULTIPLANAR* KDT**

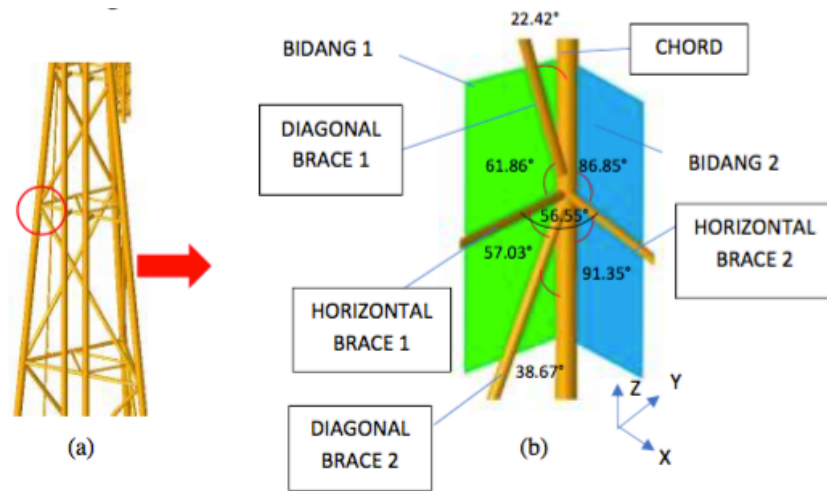


### A.1 Pemodelan *Global Platform Isometric View*

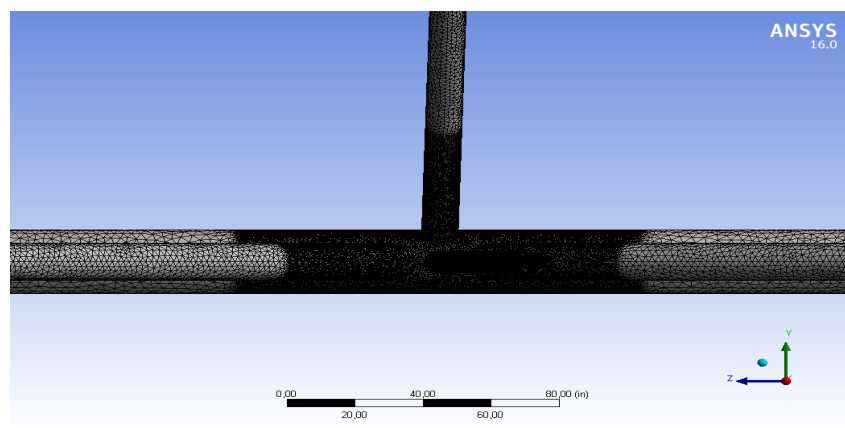


**Gambar A.1** Pemodelan *global platform isometric view*

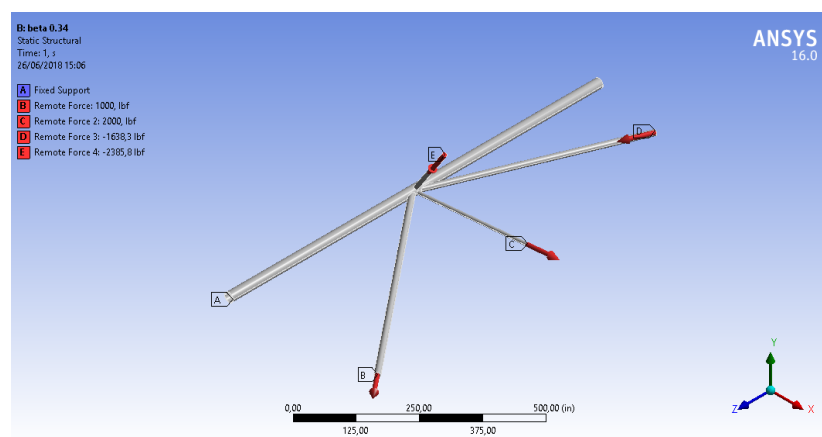
## A.2 Model Lokal Sambungan *Tubular Multiplanar K Double T*



**Gambar A.2.1** Model lokal sambungan *tubular multiplanar K double T*



**Gambar A.2.2** Model *meshing* sambungan *tubular multiplanar K double T*



**Gambar A.2.3** Kondisi batas dan pembebanan pada sambungan *tubular multiplanar K double T*



### A.3 Geometri dan *Material Properties* Sambungan *Tubular Multiplanar K Double T*

**Tabel A.3.1** Geometri sambungan *tubular multiplanar K double T*

|                           | <i>Thickness / t</i><br>(in) | <i>Outside<br/>Diameter / OD</i><br>(in) | <i>Inside<br/>Diameter / ID</i><br>(in) | <i>Length / L</i><br>(in) |
|---------------------------|------------------------------|--|---|---------------------------|
| <i>Chord</i>              | 0.688                        | 24                                       | 22.62                                   | 1032.68                   |
| <i>Diagonal Brace 1</i>   | 0.5                          | 14                                       | 13                                      | 487.19                    |
| <i>Diagonal Brace 2</i>   | 0.5                          | 14                                       | 13                                      | 611.55                    |
| <i>Horizontal Brace 1</i> | 0.364                        | 10.75                                    | 16.5                                    | 278.22                    |
| <i>Horizontal Brace 2</i> | 0.364                        | 10.75                                    | 16.5                                    | 149.80                    |

**Tabel A.3.2** *Material Properties* sambungan *tubular multiplanar K double T*

|              | <i>Spec dan<br/>Grade</i> | <i>Yield<br/>Strength / <math>\sigma_y</math></i><br>(ksi) | <i>Modulus<br/>Young / E</i><br>(ksi) | <i>Shear<br/>Modulus / G</i><br>(ksi) | <i>Poisson's<br/>Ratio / <math>\nu</math></i> |
|--------------|---------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| <i>Chord</i> | API 5L<br>Grade 290       | 290  | 29007.5449                            | 11603.0175                            | 0.3   |
| <i>Brace</i> | API 5L<br>Grade B         | 241  | 29007.5449                            | 11603.0175                            | 0.3   |

**LAMPIRAN B**  
***MESHING SENSITIVITY***

**Tabel B.1** *Meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT  
sesuai model *global*

| Ukuran Elemen (in) | <i>Stress</i> (psi) | <i>Error</i> (%) |
|--------------------|---------------------|------------------|
| 1                  | 368.060             |                  |
| 0.95               | 366.250             | 0.494            |
| 0.9                | 342.020             | 7.084            |
| 0.85               | 325.190             | 5.175            |
| 0.8                | 329.530             | 1.317            |
| 0.75               | 293.170             | 12.402           |
| 0.7                | 287.050             | 2.132            |
| 0.65               | 288.290             | 0.430            |
| 0.6                | 278.620             | 3.471            |
| 0.55               | 272.630             | 2.197            |
| 0.5                | 269.140             | 1.297            |

**Tabel B.2** *Meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT  
dengan variasi parameter *beta* (a) 0.34 (b) 0.38 (c) 0.42

| Ukuran Elemen (in) | <i>Stress</i> (psi) | <i>Error</i> (%) |
|--------------------|---------------------|------------------|
| 1                  | 883.890             |                  |
| 0.95               | 799.430             | 10.565           |
| 0.9                | 738.030             | 8.319            |
| 0.85               | 827.350             | 10.796           |
| 0.8                | 801.160             | 3.269            |
| 0.75               | 881.650             | 9.129            |
| 0.7                | 848.840             | 3.865            |
| 0.65               | 863.450             | 1.692            |
| 0.6                | 878.850             | 1.752            |
| 0.55               | 864.210             | 1.694            |
| 0.5                | 887.640             | 2.640            |

(a)

| Ukuran Elemen (in) | <i>Stress</i> (psi) | <i>Error</i> (%) |
|--------------------|---------------------|------------------|
| 1                  | 709.960             |                  |
| 0.95               | 716.390             | 0.898            |
| 0.9                | 728.110             | 1.610            |
| 0.85               | 688.290             | 5.785            |
| 0.8                | 713.730             | 3.564            |
| 0.75               | 804.170             | 11.246           |
| 0.7                | 803.300             | 0.108            |
| 0.65               | 786.880             | 2.087            |

**Tabel B.2** *Meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter *beta* (a) 0.34 (b) 0.38 (c) 0.42 (lanjutan)

| Ukuran Elemen (in) | <i>Stress</i> (psi) | <i>Error</i> (%) |
|--------------------|---------------------|------------------|
| 0.6                | 758.340             | 3.763            |
| 0.55               | 769.860             | 1.496            |
| 0.5                | 797.260             | 3.437            |

(b)

| Ukuran Elemen (in) | <i>Stress</i> (psi) | <i>Error</i> (%) |
|--------------------|---------------------|------------------|
| 1                  | 629.480             |                  |
| 0.95               | 653.940             | 3.740            |
| 0.9                | 630.470             | 3.723            |
| 0.85               | 638.980             | 1.332            |
| 0.8                | 623.680             | 2.453            |
| 0.75               | 641.640             | 2.799            |
| 0.7                | 625.210             | 2.628            |
| 0.65               | 704.590             | 11.266           |
| 0.6                | 698.760             | 0.834            |
| 0.55               | 715.920             | 2.397            |
| 0.5                | 701.670             | 2.031            |

(c)

**Tabel B.3** *Meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter *tau* (a) 0.34 (b) 0.38 (c) 0.42

| Ukuran Elemen (in) | <i>Stress</i> (psi) | <i>Error</i> (%) |
|--------------------|---------------------|------------------|
| 1                  | 693.920             |                  |
| 0.95               | 610.850             | 13.599           |
| 0.9                | 692.510             | 11.792           |
| 0.85               | 602.560             | 14.928           |
| 0.8                | 571.890             | 5.363            |
| 0.75               | 596.830             | 4.179            |
| 0.7                | 595.800             | 0.173            |
| 0.65               | 718.530             | 17.081           |
| 0.6                | 696.320             | 3.190            |
| 0.55               | 669.130             | 4.063            |
| 0.5                | 695.260             | 3.758            |

(a)

| Ukuran Elemen (in) | <i>Stress</i> (psi) | <i>Error</i> (%) |
|--------------------|---------------------|------------------|
| 1                  | 676.900             |                  |
| 0.95               | 623.910             | 8.493            |

**Tabel B.3** *Meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter *tau* (a) 0.34 (b) 0.38 (c) 0.42 (lanjutan)

| Ukuran Elemen (in) | <i>Stress</i> (psi) | <i>Error</i> (%) |
|--------------------|---------------------|------------------|
| 0.9                | 638.040             | 2.215            |
| 0.85               | 577.870             | 10.412           |
| 0.8                | 595.320             | 2.931            |
| 0.75               | 594.120             | 0.202            |
| 0.7                | 567.620             | 4.669            |
| 0.65               | 620.160             | 8.472            |
| 0.6                | 604.230             | 2.636            |
| 0.55               | 619.100             | 2.402            |
| 0.5                | 619.880             | 0.126            |

(b)

| Ukuran Elemen (in) | <i>Stress</i> (psi) | <i>Error</i> (%) |
|--------------------|---------------------|------------------|
| 1                  | 577.640             |                  |
| 0.95               | 614.970             | 6.070            |
| 0.9                | 584.900             | 5.141            |
| 0.85               | 568.380             | 2.907            |
| 0.8                | 574.320             | 1.034            |
| 0.75               | 537.580             | 6.834            |
| 0.7                | 719.920             | 25.328           |
| 0.65               | 611.710             | 17.690           |
| 0.6                | 617.960             | 1.011            |
| 0.55               | 593.670             | 4.091            |
| 0.5                | 616.790             | 3.748            |

(c)

**Tabel B.4** *Meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter *gamma* (a) 14.5 (b) 15.5 (c) 16.5

| Ukuran Elemen (in) | <i>Stress</i> (psi) | <i>Error</i> (%) |
|--------------------|---------------------|------------------|
| 1                  | 508.990             |                  |
| 0.95               | 472.650             | 7.689            |
| 0.9                | 561.580             | 15.836           |
| 0.85               | 471.720             | 19.049           |
| 0.8                | 463.280             | 1.822            |
| 0.75               | 503.490             | 7.986            |
| 0.7                | 498.160             | 1.070            |

**Tabel B.4** *Meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter *gamma* (a) 14.5 (b) 15.5 (c) 16.5 (lanjutan)

|      |         |       |
|------|---------|-------|
| 0.65 | 544.850 | 8.569 |
| 0.6  | 521.460 | 4.485 |
| 0.55 | 533.710 | 2.295 |
| 0.5  | 514.780 | 3.677 |

(a)

| Ukuran Elemen (in) | <i>Stress</i> (psi) | <i>Error</i> (%) |
|--------------------|---------------------|------------------|
| 1                  | 477.110             |                  |
| 0.95               | 525.420             | 9.195            |
| 0.9                | 562.800             | 6.642            |
| 0.85               | 470.090             | 19.722           |
| 0.8                | 468.330             | 0.376            |
| 0.75               | 504.260             | 7.125            |
| 0.7                | 524.330             | 3.828            |
| 0.65               | 597.080             | 12.184           |
| 0.6                | 568.980             | 4.939            |
| 0.55               | 577.240             | 1.431            |
| 0.5                | 587.950             | 1.822            |

(b)

| Ukuran Elemen (in) | <i>Stress</i> (psi) | <i>Error</i> (%) |
|--------------------|---------------------|------------------|
| 1                  | 604.680             |                  |
| 0.95               | 582.060             | 3.886            |
| 0.9                | 654.990             | 11.135           |
| 0.85               | 545.410             | 20.091           |
| 0.8                | 612.450             | 10.946           |
| 0.75               | 586.910             | 4.352            |
| 0.7                | 673.160             | 12.813           |
| 0.65               | 628.130             | 7.169            |
| 0.6                | 659.500             | 4.757            |
| 0.55               | 653.620             | 0.900            |
| 0.5                | 645.030             | 1.332            |

(c)

**Tabel B.5** *Meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter *teta* (a) 80° (b) 85° (c) 90°

| Ukuran Elemen (in) | <i>Stress</i> (psi) | <i>Error</i> (%) |
|--------------------|---------------------|------------------|
| 1                  | 621.790             |                  |
| 0.95               | 612.840             | 1.460            |

**Tabel B.5** *Meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter *teta* (a) 80° (b) 85° (c) 90° (lanjutan)

| Ukuran Elemen (in) | Stress (psi) | Error (%) |
|--------------------|--------------|-----------|
| 0.9                | 650.740      | 5.824     |
| 0.85               | 585.830      | 11.080    |
| 0.8                | 597.470      | 1.948     |
| 0.75               | 508.080      | 17.594    |
| 0.7                | 591.530      | 14.107    |
| 0.65               | 620.340      | 4.644     |
| 0.6                | 612.740      | 1.240     |
| 0.55               | 590.840      | 3.707     |
| 0.5                | 602.340      | 1.909     |

(a)

| Ukuran Elemen (in) | <i>Stress</i> (psi) | <i>Error</i> (%) |
|--------------------|---------------------|------------------|
| 1                  | 578.350             |                  |
| 0.95               | 699.780             | 17.353           |
| 0.9                | 653.190             | 7.133            |
| 0.85               | 554.250             | 17.851           |
| 0.8                | 586.240             | 5.457            |
| 0.75               | 655.610             | 10.581           |
| 0.7                | 683.590             | 4.093            |
| 0.65               | 628.350             | 8.791            |
| 0.6                | 624.370             | 0.637            |
| 0.55               | 644.910             | 3.185            |
| 0.5                | 659.850             | 2.264            |

(b)

| Ukuran Elemen (in) | <i>Stress</i> (psi) | <i>Error</i> (%) |
|--------------------|---------------------|------------------|
| 1                  | 596.510             |                  |
| 0.95               | 602.610             | 1.012            |
| 0.9                | 642.190             | 6.163            |
| 0.85               | 703.580             | 8.725            |
| 0.8                | 615.140             | 14.377           |
| 0.75               | 653.570             | 5.880            |
| 0.7                | 668.180             | 2.187            |
| 0.65               | 601.780             | 11.034           |

**Tabel B.5** *Meshing sensitivity* pada model sambungan *tubular multiplanar* KDT dengan variasi parameter *teta* (a) 80° (b) 85° (c) 90° (lanjutan)

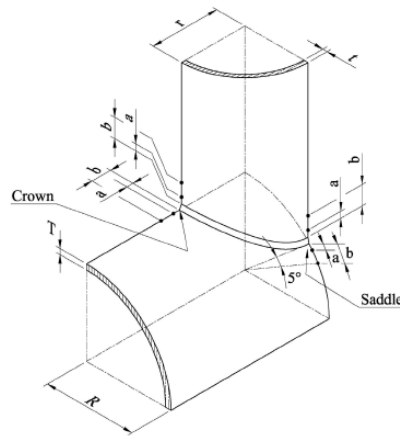
| Ukuran Elemen (in) | Stress (psi) | Error (%) |
|--------------------|--------------|-----------|
| 0.6                | 588.230      | 2.304     |
| 0.55               | 615.350      | 4.407     |
| 0.5                | 598.460      | 2.822     |

(c)



**LAMPIRAN C**  
**EKSTRAPOLASI LINIER**  
**TEGANGAN *HOT-SPOT***

## C.1 Menentukan Titik Ekstrapolasi Berdasarkan DNVGL-RP-C203



**Gambar C.1.1** Titik Ekstrapolasi linier pada *tubular joint* untuk mencari *hot-spot stress* (DNVGL-RP-C203, 2016)

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *brace* adalah:

$$a = 0,2 \sqrt{r t}$$

$$b = 0,4 \sqrt{r t}$$

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *chord* pada posisi *crown* adalah:

$$a = 0,2 \sqrt{r t}$$

$$b = 0,4 \sqrt{r t R T}$$

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *chord* pada posisi *saddle* adalah:

$$a = 0,2 \sqrt{r t}$$

$$b = 2 \pi R \frac{5}{360} = \frac{\pi R}{36}$$

Dengan:

$r$  = jari-jari *brace*

$t$  = ketebalan *brace*

$R$  = jari-jari *chord*

$T$  = ketebalan *chord*

**Tabel C.1.1** Jarak dua titik ekstrapolasi pada sambungan *tubular multiplanar K double T*

| Model | d      | D      | t     | T     | <i>Chord Saddle</i> |       | <i>Brace</i> |       |
|-------|--------|--------|-------|-------|---------------------|-------|--------------|-------|
| No.   |        |        |       |       | a                   | b     | a            | b     |
| 1     | 8.160  | 24.000 | 0.364 | 0.688 | 0.244               | 1.047 | 0.244        | 0.792 |
| 2     | 9.120  | 24.000 | 0.364 | 0.688 | 0.258               | 1.047 | 0.258        | 0.837 |
| 3     | 10.080 | 24.000 | 0.364 | 0.688 | 0.271               | 1.047 | 0.271        | 0.880 |
| 4     | 10.750 | 24.000 | 0.364 | 0.688 | 0.280               | 1.047 | 0.280        | 0.909 |
| 5     | 10.750 | 24.000 | 0.234 | 0.688 | 0.224               | 1.047 | 0.224        | 0.729 |
| 6     | 10.750 | 24.000 | 0.261 | 0.688 | 0.237               | 1.047 | 0.237        | 0.770 |
| 7     | 10.750 | 24.000 | 0.289 | 0.688 | 0.249               | 1.047 | 0.249        | 0.810 |
| 8     | 10.750 | 24.000 | 0.364 | 0.828 | 0.280               | 1.047 | 0.280        | 0.909 |
| 9     | 10.750 | 24.000 | 0.364 | 0.774 | 0.280               | 1.047 | 0.280        | 0.909 |
| 10    | 10.750 | 24.000 | 0.364 | 0.727 | 0.280               | 1.047 | 0.280        | 0.909 |
| 11    | 10.750 | 24.000 | 0.364 | 0.688 | 0.280               | 1.047 | 0.280        | 0.909 |
| 12    | 10.750 | 24.000 | 0.364 | 0.688 | 0.280               | 1.047 | 0.280        | 0.909 |
| 13    | 10.750 | 24.000 | 0.364 | 0.688 | 0.280               | 1.047 | 0.280        | 0.909 |
| 14    | 6.138  | 19.800 | 0.241 | 0.688 | 0.172               | 0.864 | 0.172        | 0.559 |
| 15    | 6.344  | 19.825 | 0.248 | 0.688 | 0.177               | 0.865 | 0.177        | 0.576 |
| 16    | 6.551  | 19.850 | 0.255 | 0.688 | 0.183               | 0.866 | 0.183        | 0.594 |
| 17    | 6.956  | 19.875 | 0.268 | 0.688 | 0.193               | 0.867 | 0.193        | 0.628 |
| 18    | 7.164  | 19.900 | 0.270 | 0.675 | 0.197               | 0.868 | 0.197        | 0.639 |
| 19    | 7.372  | 19.925 | 0.267 | 0.650 | 0.198               | 0.869 | 0.198        | 0.644 |
| 20    | 7.781  | 19.950 | 0.269 | 0.625 | 0.204               | 0.870 | 0.204        | 0.665 |
| 21    | 7.990  | 19.975 | 0.270 | 0.600 | 0.208               | 0.871 | 0.208        | 0.675 |
| 22    | 8.200  | 20.000 | 0.265 | 0.575 | 0.208               | 0.872 | 0.208        | 0.677 |
| 23    | 8.643  | 20.100 | 0.264 | 0.550 | 0.214               | 0.877 | 0.214        | 0.694 |
| 24    | 8.855  | 20.125 | 0.257 | 0.525 | 0.213               | 0.878 | 0.213        | 0.694 |
| 25    | 9.292  | 20.200 | 0.250 | 0.500 | 0.216               | 0.881 | 0.216        | 0.701 |

**Tabel C.1.2** Tegangan *hot-spot* sambungan *tubular multiplanar K double T* sisi *brace*

| Model | <i>Brace</i>                 |                               |        |
|-------|------------------------------|-------------------------------|--------|
| No.   | <i>Hot-Spot Stress</i> (psi) | Tegangan <i>Nominal</i> (psi) | SCF    |
| 1     | 2947.080                     | 224.454                       | 13.130 |
| 2     | 2765.854                     | 199.845                       | 13.840 |
| 3     | 2555.606                     | 180.099                       | 14.190 |
| 4     | 2539.007                     | 168.481                       | 15.070 |
| 5     | 2151.692                     | 258.928                       | 8.310  |

**Tabel C.1.2** Tegangan *hot-spot* sambungan *tubular multiplanar K double T* sisi *brace* (lanjutan)

| Model | <i>Brace</i>                 |                               |        |
|-------|------------------------------|-------------------------------|--------|
| No.   | <i>Hot-Spot Stress</i> (psi) | Tegangan <i>Nominal</i> (psi) | SCF    |
| 6     | 2113.751                     | 232.280                       | 9.100  |
| 7     | 2357.859                     | 210.711                       | 11.190 |
| 8     | 1536.546                     | 168.481                       | 9.120  |
| 9     | 1910.573                     | 168.481                       | 11.340 |
| 10    | 2191.936                     | 168.481                       | 13.010 |
| 11    | 2583.317                     | 168.481                       | 15.333 |
| 12    | 2529.572                     | 168.481                       | 15.014 |
| 13    | 2498.572                     | 168.481                       | 14.830 |
| 14    | 2785.413                     | 448.537                       | 6.210  |
| 15    | 2674.428                     | 421.834                       | 6.340  |
| 16    | 2746.171                     | 397.420                       | 6.910  |
| 17    | 2650.341                     | 354.941                       | 7.467  |
| 18    | 2740.929                     | 342.188                       | 8.010  |
| 19    | 2936.348                     | 336.351                       | 8.730  |
| 20    | 3202.409                     | 315.508                       | 10.150 |
| 21    | 3437.730                     | 305.576                       | 11.250 |
| 22    | 3787.171                     | 303.459                       | 12.480 |
| 23    | 4112.380                     | 287.941                       | 14.282 |
| 24    | 4407.800                     | 287.979                       | 15.306 |
| 25    | 4915.772                     | 281.771                       | 17.446 |

**Tabel C.1.3** Tegangan *hot-spot* sambungan *tubular multiplanar K double T* sisi *chord*

| Model | <i>Chord</i>                 |                               |        |
|-------|------------------------------|-------------------------------|--------|
| No.   | <i>Hot-Spot Stress</i> (psi) | Tegangan <i>Nominal</i> (psi) | SCF    |
| 1     | 2917.271                     | 224.454                       | 12.997 |
| 2     | 2710.162                     | 199.845                       | 13.561 |
| 3     | 2537.566                     | 180.099                       | 14.090 |
| 4     | 2432.947                     | 168.481                       | 14.440 |
| 5     | 2103.421                     | 258.928                       | 8.124  |
| 6     | 2175.236                     | 232.280                       | 9.365  |
| 7     | 2253.226                     | 210.711                       | 10.693 |
| 8     | 1533.564                     | 168.481                       | 9.102  |
| 9     | 1814.525                     | 168.481                       | 10.770 |
| 10    | 2120.837                     | 168.481                       | 12.588 |

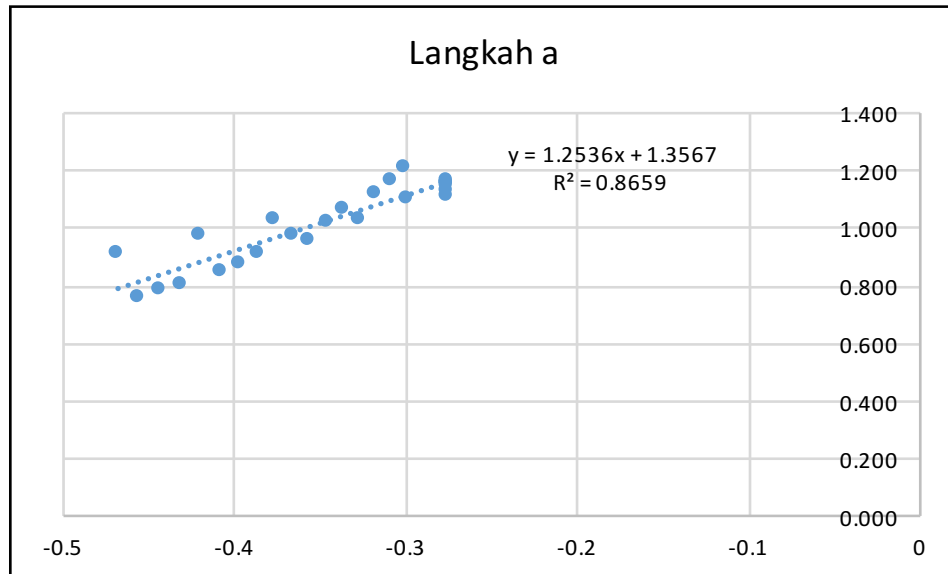
**Tabel C.1.3** Tegangan *hot-spot* sambungan *tubular multiplanar K double T* sisi *chord* (lanjutan)

| Model | <i>Chord</i>                 |                               |        |
|-------|------------------------------|-------------------------------|--------|
| No.   | <i>Hot-Spot Stress</i> (psi) | Tegangan <i>Nominal</i> (psi) | SCF    |
| 11    | 2480.556                     | 168.481                       | 14.723 |
| 12    | 2427.742                     | 168.481                       | 14.410 |
| 13    | 2410.477                     | 168.481                       | 14.307 |
| 14    | 2592.279                     | 448.537                       | 5.779  |
| 15    | 2565.013                     | 421.834                       | 6.081  |
| 16    | 2539.360                     | 397.420                       | 6.390  |
| 17    | 2489.715                     | 354.941                       | 7.014  |
| 18    | 2571.240                     | 342.188                       | 7.514  |
| 19    | 2765.432                     | 336.351                       | 8.222  |
| 20    | 2958.389                     | 315.508                       | 9.377  |
| 21    | 3231.233                     | 305.576                       | 10.574 |
| 22    | 3516.653                     | 303.459                       | 11.589 |
| 23    | 3815.245                     | 287.941                       | 13.250 |
| 24    | 4192.485                     | 287.979                       | 14.558 |
| 25    | 4568.117                     | 281.771                       | 16.212 |

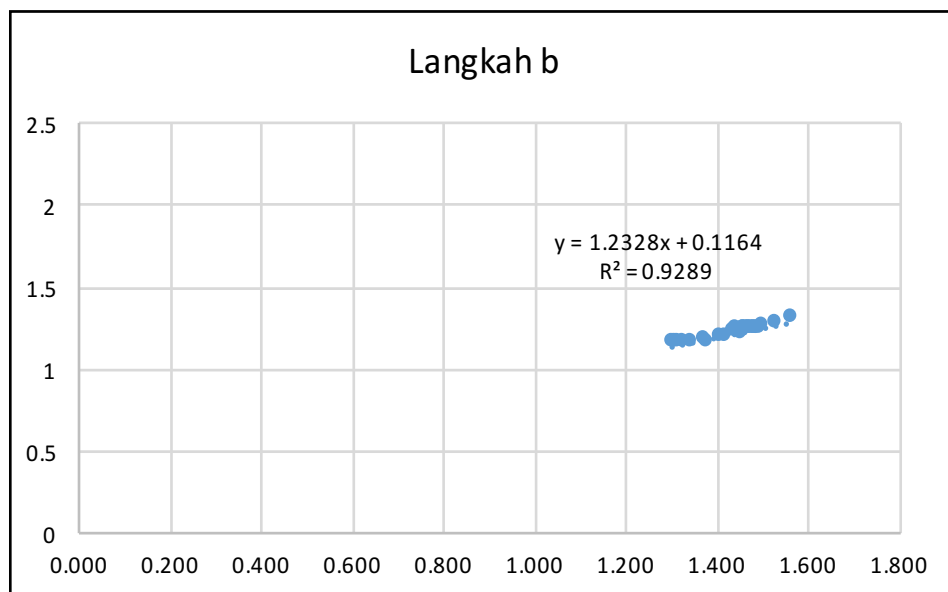


**LAMPIRAN D**  
**PERUMUSAN FAKTOR**  
**KONSENTRASI TEGANGAN**

### D.1 Perumusan Faktor Konsentrasi Tegangan sisi *Brace*

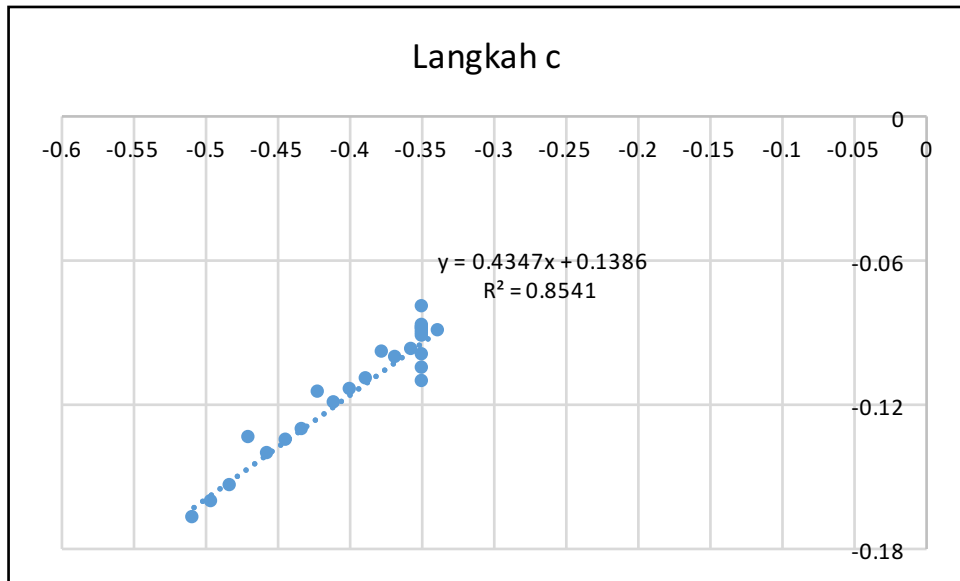


**Gambar D.1.1** Plot langkah a perumusan faktor konsentrasi tegangan sisi *brace*

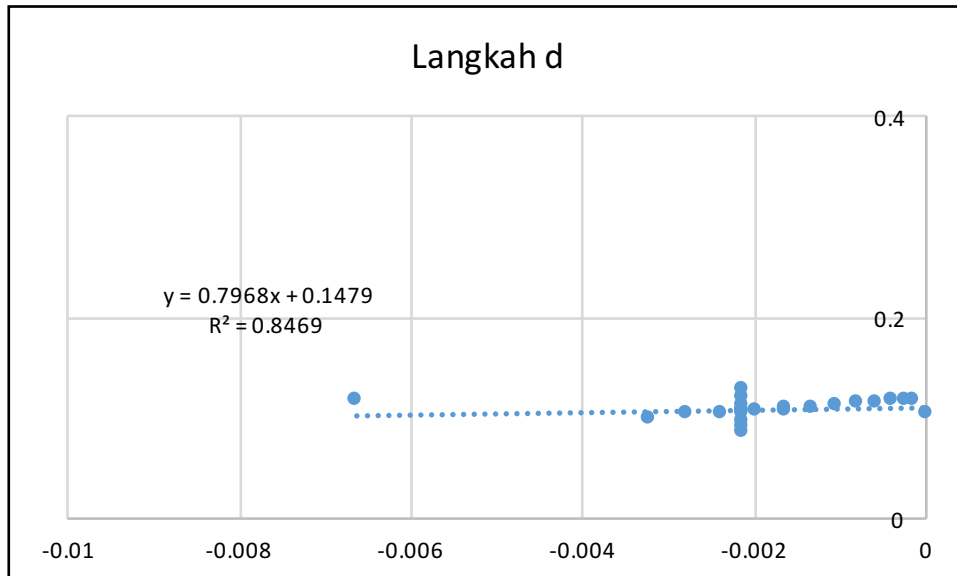


**Gambar D.1.2** Plot langkah b perumusan faktor konsentrasi tegangan sisi *brace*





**Gambar D.1.3** Plot langkah c perumusan faktor konsentrasi tegangan sisi *brace*



**Gambar D.1.4** Plot langkah d perumusan faktor konsentrasi tegangan sisi *brace*

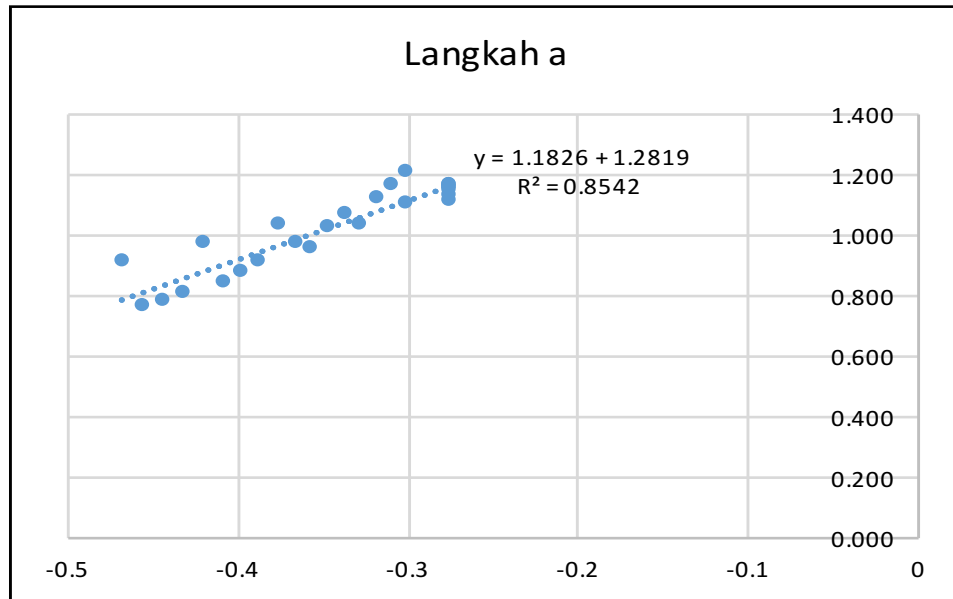
Dari hasil plot diatas didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Dari plot langkah a didapatkan kemiringan  $m1 = 1.2536$
2. Dari plot langkah b didapatkan kemiringan  $m2 = 1.2328$
3. Dari plot langkah c didapatkan kemiringan  $m3 = 0.4347$
4. Dari plot langkah d didapatkan kemiringan  $m4 = 0.7968$
5. Nilai c didapatkan dari *interception* langkah a = 1.3567

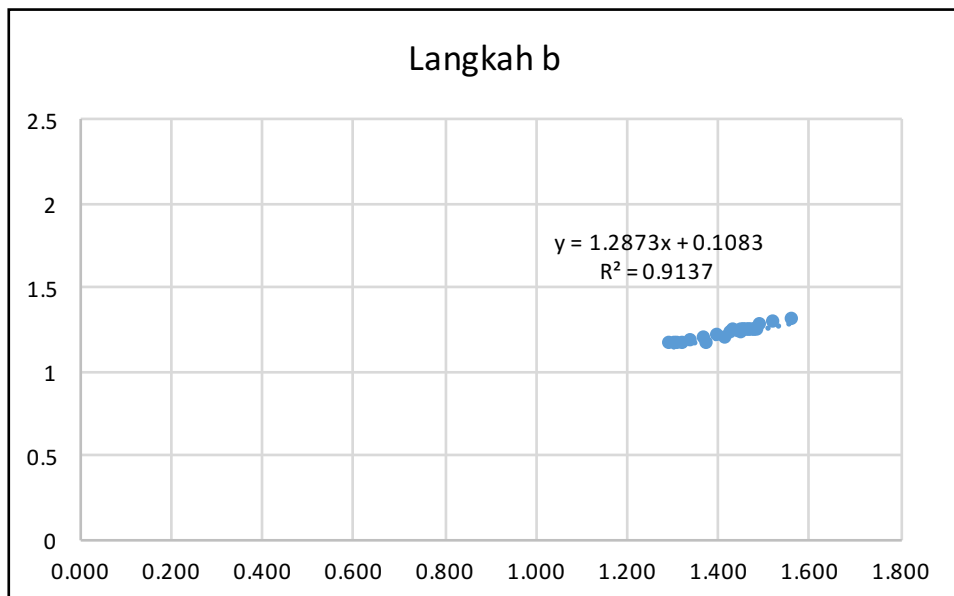
Sehingga persamaan SCF sisi *brace* :

$$SCF = (1.3567)(\tau)^{1.2536} \cdot (\gamma)^{1.2328} \cdot (\beta)^{0.4347} (\sin \theta)^{0.7968}$$

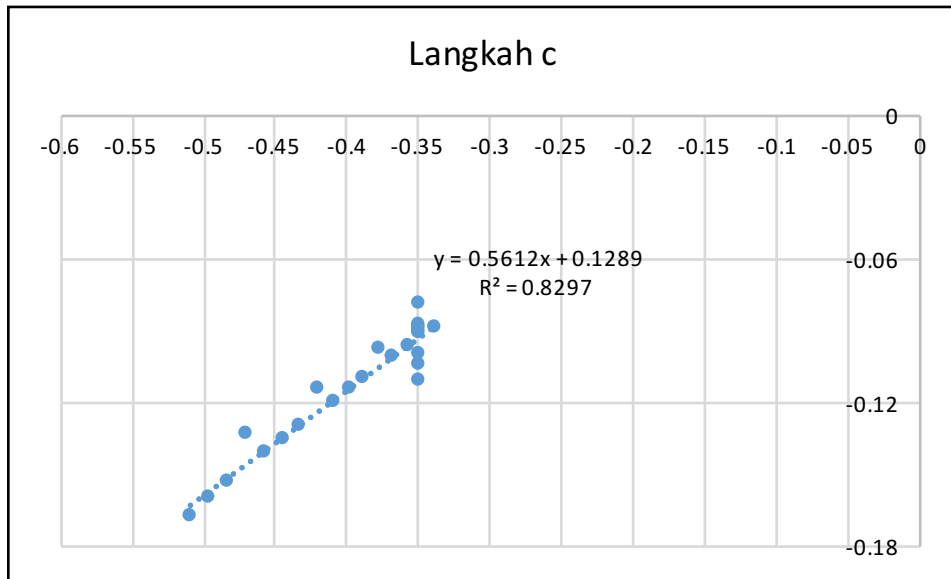
## D.2 Perumusan Faktor Konsentrasi Tegangan sisi *Chord*



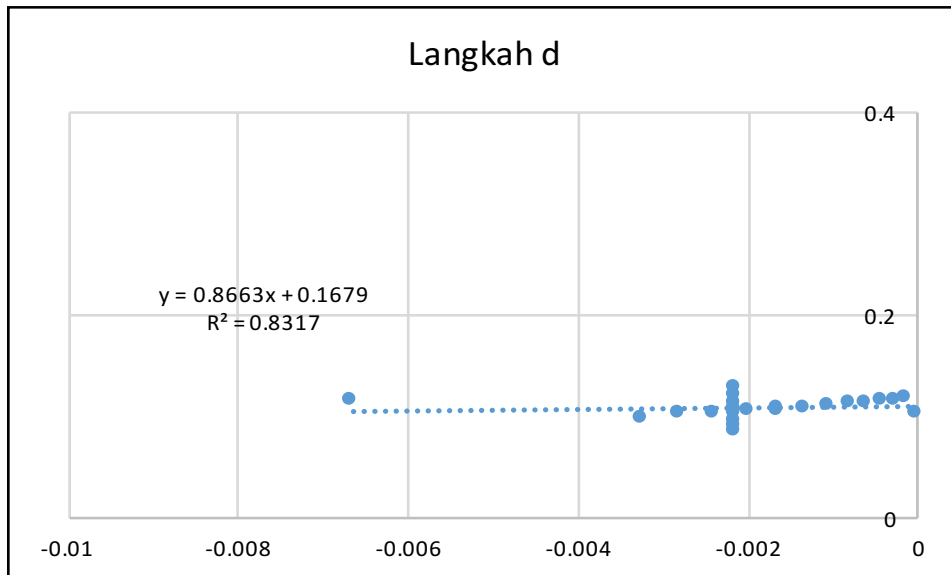
**Gambar D.2.1** Plot langkah a perumusan faktor konsentrasi tegangan sisi *chord*



**Gambar D.2.2** Plot langkah b perumusan faktor konsentrasi tegangan sisi *chord*



**Gambar D.2.3** Plot langkah c perumusan faktor konsentrasi tegangan sisi *chord*



**Gambar D.2.4** Plot langkah d perumusan faktor konsentrasi tegangan sisi *chord*

Dari hasil plot diatas didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Dari plot langkah a didapatkan kemiringan  $m_1 = 1.1826$
2. Dari plot langkah b didapatkan kemiringan  $m_2 = 1.2873$
3. Dari plot langkah c didapatkan kemiringan  $m_3 = 0.5612$
4. Dari plot langkah d didapatkan kemiringan  $m_4 = 0.8663$
5. Nilai c didapatkan dari *interception* langkah a = 1.2819

Sehingga persamaan SCF sisi *chord* :

$$SCF = (1.2819)(\tau)^{1.1826} \cdot (\gamma)^{1.2873} \cdot (\beta)^{0.5612} (\sin \theta)^{0.8663}$$

## **BIODATA PENULIS**

## BIODATA PENULIS



Sofyan Wahyu Widhestomo lahir di Surabaya pada tanggal 10 September 1996, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal di SDN Ketabang 1 Surabaya, SMP Negeri 6 Surabaya, dan SMA Negeri 1 Surabaya. Setelah lulus pada tahun 2014, penulis mengikuti Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan diterima di departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya dengan NRP 04311440000047. Selama menempuh masa perkuliahan penulis juga ikut berpartisipasi dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan sebagai Staff Departemen Keprofesian pada periode 2015-2016 dan Ketua Divisi Keprofesian pada periode 2016-2017. Selama masa studi penulis tertarik dengan bidang struktur dan pada bulan Juni-Agustus 2017 penulis berkesempatan Kerja Praktek di PT. Zee Engineering untuk mempelajari banyak hal mengenai bidang struktur. Karena ketertarikan penulis dengan bidang struktur, penulis mengambil Tugas Akhir dengan judul **“Perumusan Faktor Konsentrasi Tegangan pada Sambungan *Tubular Multiplanar K Double T* dengan Pembebanan Aksial Menggunakan Metode Elemen Hingga”** sebagai syarat kelulusan pendidikan Strata 1.

Kontak Penulis

*Email* : sofyanwahyuw@gmail.com

No.HP : 082141772792